

Die Zugbahnen der Hochdruckgebiete über Europa als klimatologisches Problem

Inaugural-Dissertation
der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen
zur
Erlangung des Doktorgrades

vorgelegt von

Helmut Reinel
aus Schönwald (Ofr.)

Erlangen 1960

Buchdruckerei Karl Döres, Erlangen, Jägerstraße 3

Als Dissertation genehmigt von der Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Universität Erlangen

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Februar 1960

Dekan: Universitätsprofessor Dr. W. SPECHT

Berichterstatter: Universitätsprofessor Dr. J. BLÜTHGEN

Berichterstatter: Universitätsprofessor Dr. O. BERNINGER

Sonderdruck aus

Mitteilungen der Fränk. Geogr. Gesellsch. Erlangen, Bd. 6, S. 1—73 (1959)

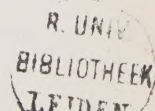
Die Zugbahnen der Hochdruckgebiete über Europa als klimatologisches Problem

(mit 4 Tab., 5 Fig., 3 Klimadiagrammen und 37 Karten)

von Helmut Reinel

GLIEDERUNG

Vorwort	Seite	2
A) Einführung	"	3
B) Methodisches	"	5
C) Analytischer Teil	"	
1. Definition	"	13
2. Aufstellung der Statistik	"	16
D) Synthetischer Teil		
1. Allgemeine Richtlinien für die Klassifikation und Beschreibung der Typen	"	19
2. Systematik der Typen		
I. Dynamische Vorstöße des Azorenhochs nach Mitteleuropa mit Stabilisierung in Mitteleuropa	"	25
II. Azorische Zwischenhochvorstöße nach Mittel- und Osteuropa	"	34
III. Azorenvorstöße nach Mittel- und Osteuropa mit Stabilisierung in Osteuropa	"	40
IV. Azorenvorstöße mit Schwerpunkt über Südwesteuropa	"	43
V. West- und nordeuropäische Bahnen	"	46
VI. Azorisch-subpolare Bahnen mit Schwerpunkt über den Britischen Inseln	"	50
VII. Isländische Zwischenhochbahnen	"	54
VIII. Skandinavische Zwischenhochbahnen	"	56
IX. Skandinavische selbständig steuernde Bahnen	"	60
X. Hochbahnen östlicher Herkunft	"	63
3. Jahresgang der Typen	"	65
E) Zusammenfassung	"	69
F) Literatur	"	71



Vorwort

Bevor ich mit den eigentlichen Ausführungen zum Thema selbst beginne, möchte ich allen denen meinen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit mit zahlreichen Ratschlägen und Hinweisen unterstützt haben.

Mein Dank gilt zunächst Herrn Professor Dr. O. BERNINGER, der mich durch Vorlesungen und Exkursionen in die Aufgaben und Methoden der gesamten Geographie einführte. Für die Anregung zu dieser Arbeit bin ich Herrn Professor Dr. J. BLUTHGEN stets zu Dank verbunden, insbesondere für die Einführung in die Gedankengänge und die Arbeitsweise der modernen dynamischen Witterungsklimatologie vom Standpunkt des Geographen, sowie für die wertvollen Ratschläge und Hinweise zum Thema selbst. Die endgültige Fassung des Themas ergab sich erst nach zahlreichen Diskussionen und persönlichen Aussprachen, die den Fortgang der Arbeit sehr gefördert haben.

Vorliegende Arbeit ist in der Hauptsache — vor allem der statistische Teil — am Wetteramt Nürnberg entstanden. Dadurch war eine ständige Fühlungnahme mit Meteorologen gegeben. Herrn Regierungsdirektor Dr. K. SCHREIBER gilt mein Dank für die Unterstützung und das Interesse, das er dieser Arbeit stets entgegengebracht hat. Durch die Teilnahme an der täglichen Besprechung der aktuellen Wetterlage wurde das Verständnis für die historischen Witterungsvorgänge, die sich bei der Durchsicht der synoptischen Karten ergaben, vertieft. Allen Meteorologen des Wetteramtes Nürnberg sei an dieser Stelle für zahlreiche Hinweise — vor allem hinsichtlich der Höhenwetterkarten — gedankt. Herr Regierungsrat Dr. Th. HOLCKE hat mich außerdem in dankenswerter Weise bei der Beschaffung der Literatur unterstützt. Herrn Oberregierungsrat Dr. G. BAUER danke ich für die Überlassung seiner ausführlichen Klimadiagramme.

Da diese Untersuchung in erster Linie für einen geographischen Leserkreis bestimmt ist, mußten verschiedene synoptische Vorgänge und meteorologische Grundlagen, die zwar dem Meteorologen selbstverständlich erscheinen, aber für den Geographen doch etwas abseits liegen, näher ausgeführt werden. Der Meteorologe unter den Lesern möge dies entschuldigen. In zahlreichen Untersuchungen ist die Bearbeitung der Zugbahnen meist nur von sekundärer Bedeutung; insofern können einige Schriften, bei denen der Begriff der „Zugbahn“ überhaupt nicht in der Themenstellung zu finden ist, leicht übersehen werden.

A) Einführung

Die stürmische Entwicklung der Meteorologie in den letzten drei Jahrzehnten, insbesondere die Erforschung der höheren Luftschichten, hat die Kluft zwischen Meteorologie und Geographie immer mehr vertieft. Die Klimatologie, die diese Kluft überbrücken müßte, wird gerade von seiten der Geographie immer mehr vernachlässigt, während die Meteorologie immer mehr zu einer mathematisch fundierten Physik der Atmosphäre geworden ist. Aber man sollte auch die Berührungspunkte zwischen Geographie und Meteorologie nicht übersehen. Der Meteorologe für langfristige Witterungsprognosen arbeitet in erster Linie statistisch-klimatologisch. Für Zwecke der Langfristprognosen wurde daher die allgemeine Verlagerung der Druckgebilde, die Zugbahnen der Hoch- und Tiefdruckgebiete, erstmals statistisch untersucht (MULTANOW-SKY, siehe Abschnitt B). Der gleiche Fragenkomplex soll hier unter einem bestimmten dynamisch-klimatologischen Gesichtspunkt für einen geographischen Zweck bearbeitet werden. Da die Zugbahnen nicht die mittleren Zustände, sondern die Dynamik und den normalen Ablauf des Witterungsgeschehens im Sinne der zweiten Definition des Klimas nach J. HANN charakterisieren und da sie ferner die Wettervorgänge, die in ihrer Gesamtheit das Klima darstellen, kausal verknüpfen, ist diese Arbeit auch ein Baustein für die dynamische Klimatologie, die nicht gewillt ist, die Lebendigkeit des Witterungsablaufes einer leblosen Statistik von Zahlenwerten zu opfern.

Wenn aber in dieser Untersuchung noch nicht auf die regionale Wirksamkeit der Bahnen (das eigentliche geographische Ziel) eingegangen werden kann, so liegt das daran, daß erst die Grundlagen und Methoden, die in geographischer Sicht von den Langfristmethoden abweichen, geschaffen werden müssen. Die Hauptarbeit ist daher zunächst einmal eine Klassifikation und Statistik der Zugbahnen an sich. Erst darauf aufbauend lassen sich regional-klimatologische Untersuchungen anknüpfen. Sie sind einer weiteren Arbeit vorbehalten.

Vorliegende synoptisch-statistische Untersuchung ist also in erster Linie ein methodischer Beitrag für eine klimatologische Auswertung der Bahnen von Hoch- und Tiefdruckgebieten. Am Ausgangspunkt dieser Arbeit stehen die drei großen Aktionszentren der klassischen Mittelwertsklimatologie: das Azorenhoch, das Isländische Tief bzw. Hoch und das Russische Hoch bzw. Tief. Die monatlichen mittleren Luftdruckkarten zeigen zwar in gewisser Hinsicht auch schon die Veränderungen und die graduell, räumlich und zeitlich wechselnden Vorstöße dieser Aktionszentren, von denen das Klima in Europa abhängig ist, aber über die wirklich zugrunde liegenden Einzelvorgänge, aus denen sich diese Mittelwerte zusammensetzen, sagen sie nichts aus. Diese Aktionszentren und ihre Veränderungen sollen daher im Sinne der modernen dynamischen Klimatologie, deren Hauptanliegen die besonders von K. KNOCH geforderte „Auflösung des Mittelwertes“ ist, in „Zugbahnen aufgelöst“ werden. Der Untersuchungsraum — Europa von 20° westlicher Länge bis Mittelrußland (40° bzw. 50° östlicher Länge) — wird etwa durch den

wechselnden Einflußbereich der obengenannten Aktionszentren abgegrenzt. Die südliche Begrenzung bedarf einiger Bemerkungen; hier handelt es sich nämlich, wie eine erste hypothetische Durchsicht des statistischen Materials ergeben hat, um einen Grenzbereich der Westwinddrift, in dem die Zugbahnen der Hochdruckgebiete so abweichende Verhältnisse hinsichtlich Richtung, Intensität, Fortpflanzungsgeschwindigkeit und vertikaler Struktur aufweisen, daß sie einer eigenen Bearbeitung vorbehalten werden müssen und daher in der vorliegenden Arbeit zunächst nicht berücksichtigt werden. Der Ablauf des Witterungsgeschehens mit den regional verschiedenen Auswirkungen in diesem so abgegrenzten europäischen Raum soll nach dynamischen Typen, die sich aus der vergleichenden Statistik der individuellen Zugbahnen ergeben, dargestellt werden. Diese klimatologische Aufgabe, die nicht im Rahmen einer einzigen Arbeit gelöst werden kann, wird vorliegender Untersuchung als Arbeitshypothese zugrunde gelegt.

Es liegt nahe, die Gesamtheit der Witterungen, nach unserer Betrachtungsweise die Verlagerungen der Hoch- und Tiefdruckgebiete in ihrem zeitlichen und räumlichen Zusammenwirken zu verfolgen. Aus arbeitstechnischen Gründen müßte man sich aber auf wenige Jahre, eine Jahreszeit oder auf eine Auswahl bestimmter Monate beschränken. Dieser Weg wurde nicht gewählt; denn die individuellen Bahnen, die die Statistik von wenigen Jahren liefert, sind wegen ihrer Verschiedenartigkeit für eine Typenbildung unzureichend. Zeichnet man die Bahnen für bestimmte Monate oder eine Jahreszeit (nach der konventionellen Gliederung des Jahres!), so könnte nur eine langjährige Statistik die atypischen Fälle und den heterogenen Charakter dieser künstlichen Zeitabschnitte ausgleichen; aber damit beträten wir wieder den Boden der Mittelwertsklimatologie. Eine Statistik der Bahnen nach den Regelfällen ginge zwar von natürlichen Zeitabschnitten aus, jedoch die Frage der natürlichen Jahreszeiten sollte zunächst offengelassen werden, da die Möglichkeit besteht, auf Grund der Häufigkeitsverteilung der Bahntypen zu einer natürlichen Gliederung des Jahres (vgl. MULTANOWSKY) zu kommen.

Einer solchen zeitlichen Begrenzung des Stoffes habe ich eine thematische vorgezogen: eine Trennung der antizyklonalen Vorgänge von den zyklonalen, obwohl ich mir bewußt bin, damit zunächst die Gesamtdynamik des Klimas, die aus dem Ineinandergreifen beider Vorgänge resultiert, aufzulösen. Auf die Notwendigkeit einer Neubearbeitung der Tiefdruckbahnen für Europa nach dem neueren Kartenmaterial wird in den verschiedenen Lehrbüchern der Meteorologie von SCHMAUSS (1945), SCHERHAG (1948), HANN-SURING (1951) u. a. immer wieder hingewiesen, wenn die Bahnen auch nicht von prognostischer, wohl aber von klimatologischer Bedeutung sind. Die älteren Bahnkarten nach KÖPPEN (1877), VAN BEBBER (1891) oder RYKATSCHEW (1896) sind heute nur noch im Sinne der älteren Isobarenmeteorologie zu verstehen. Von den neueren Untersuchungen sind die von MÜLLER-ANNEN, SCHOENWÄLDER, EVJEN, MERTINS, MARKGRAF/MACHT und KLEIN beachtenswert. MÜLLER-ANNEN (1950) fand allgemeine Regeln zur Prognose der Zugbahnen von Tiefdruckgebieten; diese Arbeit ist rein von meteorologischem Interesse. EVJEN (1953) untersuchte die Zugstraßen der Tiefdruckgebiete über Norwegen und der Norwegischen See. MARKGRAF und MACHT (1956) konnten

in einer gemeinsamen Arbeit über die zyklonenetischen Gebiete auf dem nordatlantischen Ozean als Nebenergebnis die Zugstraßen nordatlantischer Zyklonen für die Monate Januar und Juli angeben. Im Gegensatz zu früheren Darstellungsmöglichkeiten wurden nicht die Medianen, sondern die äußeren Grenzlinien („Umhüllende“) der Zugbahnscharen gezeichnet. MERTINS (1957) kam zu einer instruktiven Auflösung des Isländischen Tiefs in mehrere Bahntypen. KLEIN (1957), auf dessen methodisch bedeutsame Arbeit wir noch in Abschnitt B näher eingehen werden, hat ebenso wie SCHOENWÄLDER (1953) die Untersuchung der Bahnen der Tiefdruckgebiete auf die ganze Nordhalbkugel ausgedehnt. Aus diesen wenigen Angaben, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, geht deutlich hervor, daß die Zugstraßen der Tiefdruckgebiete auch in neuerer Zeit untersucht worden sind. Das gilt nicht in gleichem Maß für die Hochdruckgebiete und ihre „Bahnen“, obwohl diese klimatologisch für die Gestaltung unserer Witterung ebenso bedeutungsvoll sind.

Wenn daher im folgenden nur die antizyklonalen Entwicklungen behandelt werden, so geschieht dies auch aus dem Grunde, daß die Hochdruckwetterlagen in Mittel- und Westeuropa zu den am wenigsten bearbeiteten Fällen gehören. Die Vernachlässigung gegenüber den Tiefdruckgebieten ist, wie FLOHN (1954) näher ausführt, nur aus der Entwicklung der modernen Meteorologie seit BJERKNES zu erklären. In Osteuropa, wo selbständige Hochdruckgebiete schon häufiger auftreten, schenkt man ihnen mehr Interesse. Das erklärt die Tatsache, daß zahlreiche systematische Arbeiten über die Wanderung der europäischen Hochdruckgebiete von russischer Seite stammen. Aus methodischen Gründen soll zunächst auf diese und weitere Untersuchungen, die mit unserem Thema in Zusammenhang stehen, eingegangen werden. Es wurde schon eingangs betont, daß in zahlreichen Untersuchungen die Frage der „Zugbahnen“ nur ein Randproblem darstellt, so daß der Bahnbegriff überhaupt nicht bei der Fassung des Themas erscheint.

B) Methodisches

Vor drei Jahrzehnten konnte die Verlagerung der Hochdruckgebiete nur nach den Bodenwetterkarten untersucht werden; über die vertikale Struktur der Hochdruckgebiete lagen nur Einzelbeobachtungen vor. Es gab grundsätzlich zwei verschiedene Wege für die Rekonstruktion der Hochbahnen:

1. eine direkte Methode: die Einzelbahnen wurden als lineare Verbindungen zeitlich aufeinanderfolgender Druckzentren gefunden; durch Bündelung dieser individuellen Bahnen wurden die mittleren Bahnen oder Bahntypen lediglich auf Grund der Fortpflanzungsrichtung erhalten. Die verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit der auf diesen Hauptbahnen wandernden Maxima blieb bei der Klassifikation unberücksichtigt.
2. eine indirekte Methode: auf Grund einer Auszählung der Hochdruckgebiete für bestimmte Felder, z. B. Gradnetzfelder der Wetterkarten,

wurde die Antizyklonenfrequenz pro Flächeneinheit bestimmt; nach der Häufigkeitsverteilung konnte die durchschnittliche Verlagerung der Hochdruckgebiete annähernd ermittelt werden.

Die ersten Bahnkarten erfaßten meist nur einen kleinen Kartenausschnitt. Mit dem Ausbau des Stationsnetzes wurde der Untersuchungsraum erst einmal horizontal ausgeweitet. Die Zugbahnen konnten zirkumpolar verfolgt werden. Ein weiterer Fortschritt war die vertikale Ausweitung des Untersuchungsraumes: auf Grund der Höhenkarten konnten erstmalig die Wanderungen der Höhenhochs untersucht werden. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist naheliegend: es wird versucht, den komplexen, dreidimensionalen Aufbau der Hochdruckgebiete im Zusammenhang mit der Verlagerung des gesamten antizyklonalen Systems zu erfassen. Damit wird bis zu einem gewissen Grade eine Synthese von Boden- und Höhenkarte angestrebt. Das ist auch für eine geographisch ausgerichtete dynamische Klimatologie unentbehrlich.

Im folgenden sollen der historische Gang, die Methoden und Ziele, die für die Erforschung der Zugbahnen richtunggebend waren, näher erläutert werden. Es würde allerdings zu weit führen, im einzelnen auf die verschiedenen Methoden für die Auffindung der Antizyklonen-Bahnen von den ersten Anfängen an bis zu der 1957 erschienenen Arbeit von KLEIN einzugehen. Die ersten Untersuchungen, regional auf Nordamerika be-

Tabelle 1

Die Erforschung der Antizyklonen-Bahnen über Europa bzw. der gesamten Nordhemisphäre in historischer Sicht (in Anlehnung an KLEIN, 1957)

Bearbeiter	Jahr der Veröff.	Wetterkarte	Untersuchungszeitraum		Untersuchungsraum	Zeiteinheit der Bahnkarten	Art der Bahnen
			von ... bis ...	Jahre			
Brounow	1886	russ.	1876—1879	4	Europa	alle Monate	Einzelbahnen nach Monaten
Semenow	1901	russ.	1889—1893	4	Europa	nur jährlich	Einzelbahnen für 7 Typen
Multanowsky	1920	russ.	1881—1915	35	Europa	Winter (XI-IV) Sommer (V - X)	Achsen der polaren Hochdruckgebiete
Pagawa	1933	russ.	1927—1931	5	Nordhem.	Winter und Sommer	Hauptbahnen und Häufigkeitsverteilung
Barsuk	1940	russ.	1926—1922	7	Nordhem.	nur Januar	Einzelbahnen der polar. Hochs
Klein	1957	amerik.	1899—1938	40	Nordhem.	alle Monate	„primary and secondary tracks“; Häufigkeitsverteilung
			1909—1914	20			
			1924—1937				

schränkt, gehen auf LOOMIS (1876) zurück. Ihm folgte in Europa BROUNOW (1886). Auch VAN BEBBER (1894), der meist nur im Zusammenhang mit den Bahnen der Tiefdruckgebiete genannt wird, befaßte sich mit den Bahnen der Maxima. Ebenso wurden die „Isobarentypen“ nach VAN BEBBER und KÖPPEN (1895) in „Beziehung zur Lage und Bewegung der barometrischen Maxima und Minima“ gesetzt. Den weiteren historischen Gang der Erforschung der Bahnen, soweit sie für Europa von Belang sind, zeigt die tabellarische Übersicht (Tab. 1). Die Untersuchungen über Hoch- und Tiefdruckgebiete, die zum Teil noch besprochen werden, bleiben ebenso wie die speziell amerikanischen Arbeiten in dieser Tabelle unberücksichtigt. Es kann hier auf das ausführliche Literaturverzeichnis von KLEIN (1957) verwiesen werden, so daß sich eine weitere Würdigung dieser Arbeiten erübrigt, sofern sie nicht besonders für Europa oder allgemein methodisch von Bedeutung sind.

Die erste große systematische Bearbeitung der europäischen Hochbahnen für einen 35jährigen Zeitraum (1881 bis 1915) verdanken wir dem Russen B. P. MULTANOWSKY (1920), wenn wir von früheren kleineren Untersuchungen (BROUNOW u. a.) absehen. Ausgehend von der Verlagerung der Bodendruckgebilde analysierte MULTANOWSKY das gesamte Wettergeschehen in elementare synoptische Prozesse, die die Grundlage für seine Langfristprognose darstellten. Die geographische Verteilung sowie die Verlagerung der Hoch- und Tiefkerne im Meeresniveau zeigen sog. „statistische“ und „kinematische Sammelkarten“. Die Hauptbahnen, die M. als Medianen von Zugbahnenbündeln gleicher Herkunft fand, nannte er „Achsen“. Er unterschied drei Gruppen von Achsen, jeweils getrennt für die kalte (November bis April) und die warme Jahreszeit (Mai bis Oktober):

1. Polare Achsen: Hochzellen wandern von NW nach SE, weiter aufgeteilt in Isländische, Norwegische Achse etc.;
2. Ultrapolare Achsen: Hochdruckgebiete wandern von N oder NE nach S oder SW;
3. Azorenachse: Hochzellen azorischen Ursprungs, Subtropenvorstöße.

Es wurden aber nur die polaren und ultrapolaren Achsen eingehend untersucht, da sie für die Witterungsgestaltung und die Langfristprognose in Rußland ausschlaggebend sind. Die von MULTANOWSKY entwickelten Methoden wurden später von seinen Schülerinnen DULETOWA, PAGAWA u. a. weiter ausgebaut und in einer umfassenden Darstellung ausführlich beschrieben (1940).

Nach diesem Verfahren werden im ungarischen Amt für Langfristprognose seit 1950 kinematische Sammelkarten jeweils für einen halben Monat gezeichnet. Auf Grund einer Durchsicht dieser Karten kam BORSOS (1952) zu einer Typisierung der Zugbahnen von Zyklonen und Antizyklonen über Europa. Für seine Klassifikation waren Lage und Ausdehnung der Aktionszentren bzw. ihrer Vorstöße maßgebend. BORSOS unterscheidet acht verschiedene Typen, deren Dauer mindestens zwei Wochen beträgt. Für eine verfeinerte Klimatologie dürften diese Typen nicht in Frage kommen; außerdem sind sie für Zwecke der Langfristprognose aufgestellt.

Ebenfalls nach der Methode von MULTANOWSKY-PAGAWA wurden im Zentralamt des deutschen Wetterdienstes die Bahnen der Hochdruckgebiete während der Sommermonate 1950 und 1951 versuchsweise gezeichnet und in den „Großwetterlagen Mitteleuropas“ (1950, 7—9; 1951, 7—9) veröffentlicht. An Hand dieser Karten konnte gezeigt werden, daß die Umstellung vom Sommer (die Zeit der Azorenvorstöße) zum Herbst Ende August/Anfang September mit dem ersten Auftreten der „Isländischen Achse“, der westlichsten polaren Achse nach MULTANOWSKY, vollzogen wird, wenn die Azorenvorstöße auch weiterhin anhalten. Die Frage, ob angesichts der genetischen Verschiedenheit der Bahnen in diesen Sammelkarten solche Folgerungen zulässig sind, mag berechtigt sein; ein flaches Hoch auf isländischer Bahn ist doch mit einem ganz anderen Steuerungstyp verknüpft als ein hochreichendes, langsam wanderndes, selbststeuerndes Hoch auf gleicher Bahn! Die Vergleichbarkeit beider Bahnen hinsichtlich ihrer Wetterwirksamkeit muß in Frage gestellt werden, wenn nicht der vertikale Aufbau der Hochdruckgebiete mit berücksichtigt wird. Das Ergebnis dieser Arbeiten wurde von FLOHN und HOFMANN in einem Referat über die „Methoden und Entwicklung der Mittel- und Langfristprognose“ (1956) folgendermaßen zusammengefaßt: „Diese Verfahren liegen jedoch so sehr außerhalb des Erfahrungsbereiches der mitteleuropäischen Meteorologie, daß bisher in Deutschland noch kein ernsthafter Versuch zur Weiterentwicklung gemacht wurde, obwohl CHROMOW in der zweiten Auflage seines Lehrbuches bei der ausführlichen Beschreibung der Langfristprognose die Untersuchung der sog. Azorenachse der Hochdruckgebiete durch mitteleuropäische Meteorologen fordert“ (S. 5). Außerdem kann die Untersuchung von Einzelfällen oder einer Jahreszeit noch keine klimatologischen Ergebnisse liefern; für unseren Zweck muß die Statistik der Bahnen auf einen längeren Zeitraum ausgedehnt werden.

Erwähnenswert sind auch die vom Nordwestdeutschen Amt Hamburg von Oktober 1948 bis Mai 1953 veröffentlichten Bahnkarten. Für eine direkte Auswertung kommen sie ebenfalls nicht in Betracht, da die Druckgebilde außer Angaben über ihre Intensität keinerlei Differenzierung synoptischer Art aufweisen. Immerhin erleichtern sie das Aufsuchen der Druckpunkte.

Die bisher besprochenen Arbeiten haben methodisch eines gemeinsam: die Verlagerung der Hochdruckgebiete wird linear gezeichnet (kinematische Sammelkarte nach MULTANOWSKY). Methodisch ist noch ein anderer Weg gangbar: es wird zunächst auf eine lineare Darstellung verzichtet — wenngleich der Begriff der Bahn dadurch etwas fraglich wird —, aber indirekt kann man von einer Häufigkeitsverteilung der Hoch- oder Tiefdruckgebiete auf eine mittlere Verlagerung der Druckgebilde schließen (statistische Sammelkarte nach MULTANOWSKY, vgl. GM, Juli 1950, S. 53). Mehr im Sinne der Singularitätenforschung hatte bereits G. RICHTER (1938) eine Auszählung der zyklonalen und antizyklonalen Isobarenformen für bestimmte Gradnetzfelder in Europa durchgeführt. Die Häufigkeit der Isobarenformen in den $5^{\circ}/10^{\circ}$ -Feldern läßt aber — wie RICHTER selbst hervorhebt — keine geographischen Vergleiche zu, da die Gradnetzfelder auf der Grundlage einer stereographischen Projektion nur in der gleichen Breitenlage flächengleich sind. Eine ähnliche Auszählung

hat neuerdings EVJEN (1954) für annähernd flächengleiche Felder vorgenommen; die Felder in höheren Breiten erstrecken sich dabei über eine größere Zahl von Längengraden, so daß sie nahezu die gleiche Fläche haben wie die Felder in niederen Breiten. Die Häufigkeitswerte sind zwar geographisch vergleichbar, jedoch die tatsächliche Verlagerung der Hoch- und Tiefdruckgebiete, letztlich die Dynamik des Witterungsablaufes, ist aus dieser Art der Statistik nicht ersichtlich. Deswegen habe ich keine solche Auszählung der Hochdruckgebiete nach den Wetterkarten vorgenommen, wenngleich nach dieser Methode bereits eine Auflösung des Mittelwertes in seine Komponenten — Häufigkeit und Intensität der Druckgebilde — erzielt wird.

Zu einer rein quantitativen Auflösung der Aktionszentren nach der relativen Häufigkeit ihres Auftretens in Europa war auch RUNGE (Diss. 1931) gekommen. RUNGE fand aus einem 11jährigen Material (1901 bis 1911) im Bereich Europas (ohne den Osten des europäischen Rußlands) 357 Antizyklogen: davon waren 48,8% rein azorischen Ursprungs; die übrigen gehen auf das subpolare Hoch (15,2%), die sibirische Antizyklone (6,9%) oder auf Vereinigungen der Aktionszentren zurück. Der Jahresgang der verschiedenen Maxima in den einzelnen meteorologischen Jahreszeiten wird anhand einer tabellarischen Übersicht aufgezeigt. Weitere klimatologische Untersuchungen über die Wanderung der Hochdruckgebiete etc. können wir nicht erwarten, denn das Hauptproblem RUNGES ist hierbei die Struktur der kalten und warmen Antizyklogen unter einem meteorologischen Gesichtspunkt.

Darauf aufbauend ging M. LEHMANN (1950) noch einen Schritt weiter. Er untersuchte zwar die „Hochdrucklagen als Singularitäten im Witterungsverlauf von Mitteldeutschland“, berührte aber einleitend auch die Entwicklung der Hochdruckwetterlagen in Mitteleuropa in Zusammenhang mit der Wanderung der Hochdruckgebiete. Alle mitteleuropäischen Hochdruckgebiete werden als Ausläufer eines der drei großen quasi permanenten antizyklonalen Aktionszentren gedeutet; diese Ausläufer können sich zu einer selbständigen Hochzelle entwickeln, die mit „geringer Geschwindigkeit auf verschiedenen Zugbahnen über Deutschland hinwegwanderten oder bisweilen auch mehrere Tage stationär wurden“ (S. 21). Nach der Verlagerungsrichtung unterscheidet L. neun verschiedene Typen: davon 7 Entwicklungsmöglichkeiten, ausgehend vom Azorenhoch; für das Grönlandhoch und das Sibirische Hoch nur je eine. Die Wanderung der Hochzellen wird nicht linear mit Hilfe von „Bahnen“, sondern durch eine Reihe von aufeinanderfolgenden Wetterkarten (vgl. „ähnliche Fälle“) als Musterbeispiel für jeden Typ dargestellt. Diese Typengliederung unter einem dynamischen Gesichtspunkt ist die qualitative Vorarbeit für die quantitative Auszählung; insofern ist besonders die Untersuchung von LEHMANN methodisch auch für uns richtunggebend. Die Wetterwirksamkeit der Bahnen wird angedeutet, wobei hinsichtlich der Dauer des Hochdruckeinflusses auf die vertikale Entwicklung der Hochdruckgebiete verwiesen wird. Hierin liegt ein weiterer Anknüpfungspunkt für eine Klimatologie der europäischen Zugbahnen, die die Vielfalt des europäischen Witterungsablaufes zu erfassen sucht.

Die weitere Erforschung der Bahnen ging andere Wege. Der fortschreitende Ausbau des Stationsnetzes und die Veröffentlichung von Hemisphä-

renkarten führte zu einer Ausweitung des Untersuchungsraumes auf die ganze Nordhemisphäre, während die vorherigen Untersuchungen nur auf Europa oder einen Teil von Europa beschränkt blieben. Ähnlich wie EVJEN (s. o.) kam KLEIN (1957) zu einer Häufigkeitsstatistik der Hoch- und Tiefdruckgebiete nach den Gradnetzfeldern. Durch entsprechende Reduktion auf ein „Einheitsfeld“ wurden erst geographisch vergleichbare Häufigkeitswerte erzielt: „the raw frequencies observed within each box were multiplied by the coefficients... in order to adjust them to the area of a 5° quadrangle centered at 45° N. and thus made them comparable on a hemispheric basis“ (S. 4). Gleiche Häufigkeitswerte konnten durch Isolinien verbunden werden. Häufigkeitsmaxima bezeichnen die Gebiete, wo die Hochdruckgebiete entweder besonders häufig durchziehen oder stationär werden, bzw. die Schnittpunkte sich kreuzender Bahnen; „Ausläufer der Häufigkeitsmaxima weisen auf besonders bevorzugte Verlagerungsrichtungen hin. Das Endergebnis sind die nach ihrer Häufigkeit unterschiedenen „primary and secondary tracks“. Für ihre Festlegung hat KLEIN neben seiner eigenen 20jährigen Statistik nach den Historical Weather Map Series auch ältere statistische Unterlagen mit verwertet. Bei den Bahnen wurden zwar die Tiefdruckgebiete weiter differenziert (6 bzw. 8 Typen), aber nicht die Hochdruckgebiete: „... anticyclones were not subdivided in any way“ (S. 7). Da aber unser Untersuchungsraum, nämlich Europa, unter dem Einfluß sowohl vorwiegend kalter polarer als auch warmer subtropischer Hochdruckgebiete steht, so daß diese nach ihrer vertikalen Struktur ganz entscheidend differenziert werden müssen, muß auch die klimatologische Auswertung der Bahnen in Europa auf diese synoptische Unterscheidung Rücksicht nehmen. Eine weitere Differenzierung, die aber bei der so großräumig angelegten Arbeit KLEINs nicht erwartet werden darf, ist regionaler Art. Der Hinweis KLEINs, „it should be borne in mind that only the average behaviour of systems is being discussed“ (S. 11), darf nicht übersehen werden. Die Durchsicht der Bahnkarten nach KLEIN läßt verschiedene allgemein-klimatologische Grundzüge erkennen, u. a. das Ausscheren der Antizyklonenbahnen nach rechts, was RYD und SCHERHAG theoretisch nachgewiesen haben, oder die jahreszeitliche Verlagerung der durchschnittlichen Bahnen in Zusammenhang mit der jahreszeitlich bedingten Verschiebung der Aktionszentren. Wollen wir aber die räumliche Feinstruktur und den zeitlichen Ablauf von Witterung und Klima in Europa nach der Wirksamkeit der Bahnen erklären, so können wir nicht von diesen mittleren Bahnen ausgehen. Folgendes Beispiel möge dies erläutern: Während der drei Sommermonate (Juni–August) ist nach KLEIN ein „primary track“, der von der nördlichen Biskaya durch den Kanal nach Norddeutschland verläuft, bestimmend. Damit läßt sich nicht die Struktur des mitteleuropäischen Sommers erklären, auch wenn wir die polaren „secondary tracks“ mit einbeziehen. Die Toleranzbreite der Bahnen ist für diese Überlegungen zu groß: die Hochdruckgebiete, die in dieser mittleren Bahn zusammengefaßt werden, können im tatsächlichen Ablauf sowohl über England nach Norden als auch durch Süddeutschland zum Schwarzen Meer wandern. Nach der Lage der mittleren Bahn entsteht sogar der Eindruck, daß Norddeutschland im Zentrum der sommerlichen Azorenvorstöße liegt. Dies entspricht zwar der mittleren Luftdruckkarte des Sommers (Juli), aber nicht der normalen Sommerwitterung in Mittel-

europa, nach der Norddeutschland eher etwas übernormale Niederschläge aufweist (vgl. Abschnitt D, 2). Dessen ungeachtet hat KLEIN als Meteorologe eine umfassende Darstellung der Bahnen von Hoch- und Tiefdruckgebieten der gesamten Nordhalbkugel geliefert, bestimmt für Zwecke der Langfristprognose. Das geographisch-klimatologische Ziel der vorliegenden Arbeit ist demgegenüber eine eingehende Untersuchung eines kleineren Raumes, nämlich Europas, mit dementsprechend verfeinerten Methoden, die in einer synoptisch-strukturellen, regional und zeitlich verfeinerten Differenzierung bestehen.

Was die synoptisch-strukturelle Differenzierung betrifft, so sind vor allem die Vorgänge in den höheren Luftschichten heranzuziehen. Wenn auch KLEIN in seiner Untersuchung auf die absolute Topographie der 700-mb-Fläche hinweist, so beziehen sich seine „final tracks“ — ebenso wie die früheren Bahnkarten — letzten Endes nur auf die Wanderung der Druckgebilde im Meeresniveau, obwohl die Wirksamkeit der Bahnen, wie die Erfahrung lehrt, entscheidend von den Entwicklungen in der Höhe abhängig ist.

Die fortschreitende Verfeinerung der Höhenwetterkarten andererseits hat dazu geführt, die Verlagerung der Höhentiefs und Höhenhochs zu verfolgen. Für ein Jahr (1950) wurden vom Wetteramt für Rheinland-Pfalz monatlich Sammelkarten der individuellen Zugbahnen der Druckgebilde nach der absoluten Topographie der 500-mb-Fläche veröffentlicht. Für einen Zeitraum von fünf Jahren untersuchte TEICH (1955) die Zugbahnen der mitteltroposphärischen Hochdruckgebiete nach der absoluten Topographie der 500-mb-Fläche über der nördlichen Nordhemisphäre. TEICH unterscheidet vier Typen von Bewegungszuständen (Zugbahnen), für die jeweils die jahreszeitliche Verteilung angegeben wird: quasi stationäre Lagen, sehr schnell zonal-progressive Bewegungen, Meridionalbewegungen, zonal-retrograde Bewegungen. Diese Beiträge sind zweifellos für die Klärung der allgemeinen Zirkulation sehr wichtig, aber wiederum rein meteorologisch. Andere Beiträge über die Zugbahnen der Höhendruckgebilde erfassen nur Einzelfälle, so z. B. die Bahnen der Höhenhochs für den extremen und meteorologisch wie klimatologisch interessanten Sommer 1955 (HESS in Großwetterlagen ME's, 1955, S. 53) oder für besonders auffallende ähnliche Fälle, wie März 1948 und 1953 (HUSSLIN im GM 1953, S. 21). Zu den Aufgaben der geographischen Klimatologie gehört aber nicht die eingehende Untersuchung von ausgewählten Beispielen, um daraus bestimmte physikalische Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, sondern die systematische Bearbeitung aller Fälle eines längeren Zeitraumes, um daraus das regional Typische herauszuschälen. Allerdings sollte dabei — nach den Richtlinien der neueren Klimatologie — nicht die Individualität des Einzelfalles blindlings der Statistik geopfert werden.

Die Klimatologie der Zugbahnen für ein geographisches Ziel darf auch nicht bei der Behandlung der Vorgänge in 5 km Höhe stehenbleiben. Wir müssen ebenso sehr auf die Entwicklungen im Meeresniveau achten, wenn wir die Feinstruktur des Klimaablaufes — bedingt durch die Verteilung von Land und Meer und das Relief — erklären wollen. Die Situation, in der die moderne Klimatologie heute steht, schildert LAUSCHER (1954) in seiner dynamischen Klimaskizze von Österreich folgendermaßen: „Im allgemeinen lehrt die Erfahrung, daß die Wetterkarte in ihrer klimatolo-

gischen Auswirkung am einfachsten nach den Druckgebilden im Meeresniveau gekennzeichnet werden können. Der Art der Höhenströmung wird implizite Rechnung getragen" (S. 148). Folgendes Beispiel soll die Bedeutung der Höhenkarte für die Behandlung der Zugbahnen verdeutlichen:

Im Sommer 1955 zogen die Bodenhochs azorischer Herkunft von der Biscaya über England hinweg nach Skandinavien, um dann nach Südosten einzuschwenken. Die Höhenhochs, die seinerzeit HESS bearbeitet hat (GM 1955, S. 53), wanderten auf annähernd gleicher Bahn. „Durch wiederholte Warmluftvorstöße aus dem Subtropenhoch wurden mehrere Kaltlufttropfen abgeschnürt, die über Süddeutschland und besonders dem Alpenraum ohne Verbindung mit einer großräumigen Drift im wesentlichen durch konvektive Vorgänge aufgelöst werden mußten. Starkregenfälle in diesen Gebieten waren die Folge. ... Die Zirkulation hat manche Ähnlichkeit mit dem heißen und trockenen Hochsommer 1947. Nur fehlten damals die zähen Kaltlufttropfen" (HOFMANN in GM 1955, S. 56). Eine Durchsicht eigener Bahnkarten ergab, daß die Bahnen der Bodenhochs im Sommer 1947 den gleichen Verlauf zeigen wie im Sommer 1955; erstere sind nur ganz geringfügig nach Osten parallel verschoben. Die mitteltroposphärischen Vorstöße jedoch sind 1947 nicht über England, sondern über Mitteleuropa nach Skandinavien gerichtet. Außerdem hält 1947 die Verbindung mit dem Subtropenhoch länger an, während diese 1955 infolge Abschnürung bald abreißt. Kaltlufttropfen sind auch 1947 nachzuweisen, nur liegen sie weiter östlich und sind nicht so mächtig. Schließlich ist auch noch die lokale Witterungsvorgeschichte für die Erklärung der Sommerwitterung der Jahre 1947 und 1955 von Bedeutung.

Die eingehende synoptische Untersuchung dieser beiden Entwicklungen ist Angelegenheit des Meteorologen; mit diesem Beispiel, dem der im praktischen Dienst stehende Meteorologe noch beliebig viele anfügen könnte, sollte nur gezeigt werden, daß wir auch bei einer klimatologischen Behandlung der Zugbahnen nicht mehr ohne die Höhenkarte auskommen können. Die Höhenkarte soll nicht erst bei der klimatologischen Auswertung (Wetterwirksamkeit) der Bahnen, sondern bereits im analytischen Teil bei der Aufstellung der Statistik herangezogen werden. Damit ergeben sich neue methodische Schwierigkeiten. Man könnte, wie MILDNER (1954) an einigen Beispielen gezeigt hat, die Wanderung der Bodendruckgebilde in eine mittlere Höhenkarte, die durch einen einheitlichen mehrtägigen Ablauf des Zirkulationsgeschehens ausgezeichnet ist, eintragen. Eine Durchsicht dieser Blätter könnte wohl zu einer Klassifikation von einheitlichen Zirkulationsprozessen, nicht aber zu einer Klassifikation der Bahnen führen, da die Grundlage eine mittlere Luftdruckkarte ist. Die Bahnen der Bodenhochs (bzw. Bodentiefs) wären in diesem Fall nur akzesessorische Bestandteile der Höhenkarte. Nach der Methode von MILDNER lassen sich eher großräumige Untersuchungen meteorologischer Art durchführen, um aus den Zusammenhängen zwischen der oberen Troposphäre mit der Entwicklung und Bewegung der Bodendruckgebilde allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Großzirkulation zu finden.

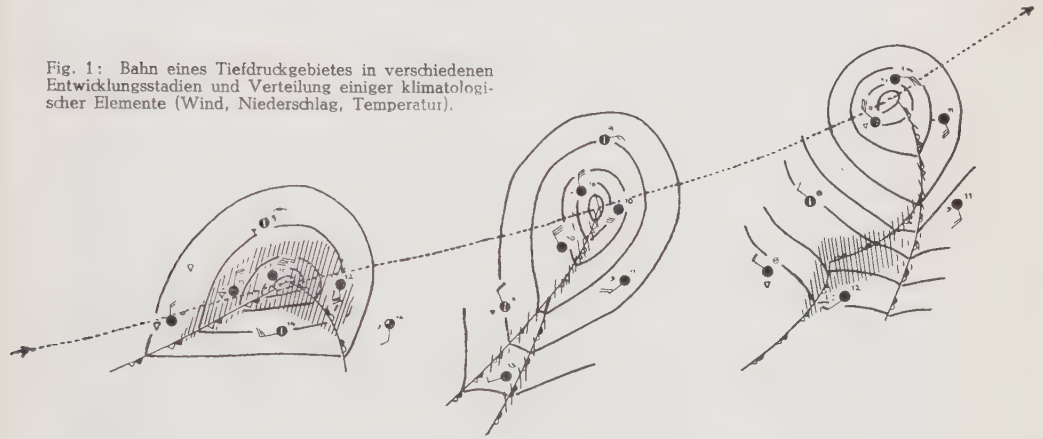
Da wir erstens nur die antizyklonalen Prozesse untersuchen, zweitens den Untersuchungsraum auf Europa beschränken und drittens eine klimatologische Auswertung der Bahnen nach ihrer Wetterwirksamkeit beabsichtigen, muß auch die Methode von Anfang an auf dieses Ziel gerichtet sein. Das grundlegende Problem ist und bleibt eine differenzierte Systematik der Hochbahnen nach Boden- und Höhenkarte. Unter diesem Gesichtspunkt bedarf der Begriff der „Zugbahn“ zunächst einer Erweiterung und genauen Definition.

C) Analytischer Teil

1. Definition

Der Begriff „Zugbahn“ als Verbindungslinie für die zeitlich aufeinander folgenden Positionen der Hochdruckgebiete wird vielfach aus zwei Gründen in Frage gestellt. Der Bahnbegriff, der zuerst für die Tiefdruckgebiete verwendet worden ist, kann nicht ohne Vorbehalt auf die Wanderung der Hochdruckgebiete übertragen werden. Im Zentrum des Tiefdruckgebietes drängen sich die Isobaren (Fig. 1), so daß die Position des Tiefdruckkernes genau festgelegt werden kann; das gilt nicht nur für die tropischen Wirbelstürme, sondern auch für die Tiefdruckgebiete höherer Breiten, ab-

Fig. 1: Bahn eines Tiefdruckgebietes in verschiedenen Entwicklungsstadien und Verteilung einiger klimatologischer Elemente (Wind, Niederschlag, Temperatur).



gesehen von den Randstörungen, die häufig überhaupt keine geschlossenen Isobaren aufweisen. Im Hochdruckgebiet (Fig. 2) dagegen umschließt die innerste Isobare einen weit größeren Raum. Vielfach ist nur ein Hochdruckkeil als Ausläufer eines der quasistationären Aktionszentren ausgebildet, der aber bei einer klimatologischen Behandlung der Hochdruckgebiete wegen der Wetterwirksamkeit nicht außer acht gelassen werden darf. Der „Kern“ des Hochdruckgebietes — damit auch seine Verlagerung — ist nicht so eindeutig wie die Bahn eines Tiefdruckgebietes festzulegen.

Wenn wir trotzdem von „Bahnen der Hochdruckgebiete“ sprechen, so kann das folgendermaßen begründet werden: Ein Tiefdruckgebiet ist gerade dann, wenn seine Bahn am besten festgelegt werden kann, asymmetrisch, d. h. luftmassenmäßig ungleichartig gebaut; die Wetterwirksamkeit ist — abgesehen von der Intensität des Windes — nicht so sehr von der horizontalen Entfernung einer Station vom Tiefdruckzentrum, sondern von der Lage des Frontensystems, der Bildung von Wellen etc. abhängig (Fig. 1). Diese werden mit der Bahn des Tiefs noch nicht erfaßt. Wenn es auch einfacher ist, die Bahn eines Tiefs festzulegen, um so schwieriger ist es, die Bahn klimatologisch auszuwerten, d. h. die Bahn in direkte Beziehung zum Gang der klimatologischen Elemente zu setzen. Beim Hochdruckgebiet liegen die Schwierigkeiten gerade umgekehrt. Es ist auch in

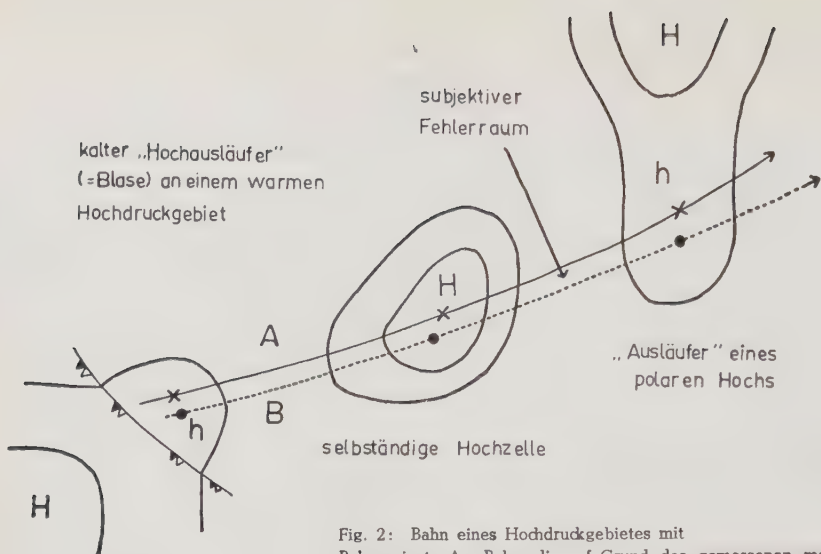


Fig. 2: Bahn eines Hochdruckgebietes mit
 Bahnvariante A: Bahn, die auf Grund des gemessenen maximalen Luftdruckwertes gefunden wurde;
 Bahnvariante B: Bahn, die auf Grund anderer meteorologischer Indizien, z. B. Winddivergenzen am Boden, nach der Wetterkarte rekonstruiert wurde.

einem frühen Entwicklungsstadium schon einheitlicher oder symmetrischer gebaut; Luftmassengrenzen oder Fronten werden bald durch Absinken aufgelöst, selbst in den rasch wandernden Zwischenhochdruckgebieten. Die Wetterwirksamkeit ist im Normalfall nach allen Richtungen einheitlicher ausgeprägt. Der Hochdruckeinfluß nimmt meist allseitig kontinuierlich mit zunehmendem Abstand vom Hochdruckschwerpunkt nach außen hin ab. Unter diesem klimatologischen Gesichtspunkt wird der subjektive Fehler, der bei der Rekonstruktion der „Bahnen“ der Hochdruckgebiete unvermeidlich ist, wieder aufgewogen. So können wir die große Toleranzbreite, die wir bei der Rekonstruktion einer Bahn (vgl. Fig. 2) in Kauf nehmen müssen, verantworten und den Bahnbegriff vom klimatologischen Standpunkt aus auch auf die Wanderung der Hochdruckgebiete ausdehnen.

Ein zweiter Einwand ist nicht ohne weiteres als meteorologische Streitfrage von der Hand zu weisen. Manchmal „kann ein aufgesetzter Druckanstieg eine Verlagerung des Kernes bedingen, so daß man nur „cum grano salis“ von Hochdruck-„Bahnen“ sprechen kann“ (SEILKOPF¹⁾). Als Beispiel sei die synoptische Entwicklung vom 10. Juli 1947 ff. (vgl. Abb. Typ V, k, Seite 47) erwähnt:

Am 13. Juli ist über Westeuropa eine selbständige Hochdruckzelle entstanden, die man rein nach dem Isobarenbild der Bodenkarte auf einen Ausläufer des Azorenhochs zurückführen kann. Im Wetterbericht vom 13. Juli 1947 werden die Ursachen dieser synoptischen Entwicklung eingehend geschildert: am 10. Juli „vertiefte sich eine südlich von Grönland gelegene schwache Störung durch Kaltluftzufuhr aus der Davisstraße und verlagerte sich nach Osten. Zu gleicher Zeit entwickelte sich ostwärts davon in dem Raum von Island-Irland ein vorher nicht vorhanden gewesenes Steiggebiet. Auf der Breite von Irland blieb nun die Westbegrenzung dieses Steiggebietes bei 20° Westlänge liegen, während die Ostbegrenzung sich von England nach Mittelrußland verschob. Das Maximum des großräumigen 48stündigen Anstieges liegt mit

¹⁾ nach einer brieflichen Mitteilung von Prof. Dr. H. SEILKOPF, Seewetteramt Hamburg

25 mb über der Nordsee. Dagegen betrug der Anstieg über den Pyrenäen während des gleichen Zeitraumes nur 5 mb. Somit ist die Hochzelle über Westeuropa nicht als ein Vorstoß des Azorenhochs zu deuten" (REGULA). Im weiteren Verlauf wanderte diese Hochdruckzelle — gleichzeitig mit Druckfall über Süd- und Südwesteuropa — nach Nordosten. Die fortschreitende mitteltroposphärische advektive Erwärmung — natürlich nicht die des Erdbodens — führte zu einer weiteren Stabilisierung und zur Ausbildung eines steuernden Zentrums über Skandinavien.

Genetisch muß diese Entwicklung von den echten Azorenvorstößen unterschieden werden, wenn die „Bahnen“ auf ihre Entstehungsursachen und Entstehungsherde zurückgeführt werden sollen. In dieser Arbeit geht es aber nicht um die Klärung der Antizyklognese (BREZOWSKY, 1951) oder um die allgemeinen Bewegungsursachen der Bodenhochs. Die Entstehung und Verlagerung der Bodenhochs kann durch verschiedene einander überlagernde Vorgänge in wechselnder Höhe verursacht werden. Der Meteorologe zerlegt das Gesamtgeschehen in diese elementaren Prozesse, die eine Umstellung der Großwetterlage herbeiführen können und daher prognostisch von Bedeutung sind. Klimatologisch erfassen wir die Wanderung von Hochdruckgebieten als Integral dieser Einzelvorgänge. Die „Bahn“ ist somit vom physikalisch-meteorologischen Standpunkt aus bereits effektiv, unter einem klimatologischen Gesichtspunkt genetisch, d. h. wiederum Ursache für den Witterungsablauf. Der Meteorologe würde bei dem obenbehandelten Beispiel vom 13. Juli 1947 die einzelnen Druckwellen, die das westeuropäische Hoch aufbauen und die Verlagerung nach Skandinavien bedingen, untersuchen; wir erfassen die Wanderung des westeuropäischen Hochdruckgebietes nach Skandinavien klimatologisch als Gesamtvorgang, obwohl er sich aus physikalisch verschiedenen Elementarvorgängen zusammensetzen kann. Nicht die „Einstellung“ auf eine Bahn oder die kurz andauernde Initialentwicklung, sondern die Hauptphase des antizyklonalen Geschehens — sei es, daß es mit vertikal gleichsinnigem oder ungleichartigem Aufbau abläuft — ist für die klimatologische Auswirkung entscheidend.

Die Statistik der Wetterlagen geht auf Kosten der Dynamik noch einen Schritt weiter. Die Großwetterlagen, z. B. „Hoch Westeuropa“ oder „Hoch Nordeuropa“, halten nur den Höhepunkt oder ein Zwischenstadium einer antizyklonalen Entwicklung mit Hilfe von mittleren Luftdruckkarten fest. Ein einheitlicher Ablauf wird vielfach in zwei oder mehrere statische Wetterlagen zerlegt. Die kontinuierliche Verlagerung des Steuerungszentrums wird mit den Bahnen erfaßt. In diesem Sinne können wir die Bahnen auch als „Großwetterlagen-Folgen“ (vgl. SIEGENTHALER, 1949) bezeichnen. Nach dem obigen Beispiel wird dadurch das westeuropäische mit dem skandinavischen Hoch verknüpft. Solche Folgen müssen nicht unbedingt mit einer physikalisch-genetischen Folge übereinstimmen. Diese Definition einer Bahn gilt aber nur für die Wanderung der steuernden Hochdruckgebiete.

Hochdruckwetter stellt sich auch beim Durchzug von rasch wandernden Zwischenhochdruckgebieten ein. Wenngleich die Steuerung bei diesen Lagen vorwiegend zyklonal und der Hochdruckeinfluß nur regional beschränkt und zeitlich von kurzer Dauer ist, dürfen wir die Bahnen der Zwischenhochs auf Grund ihrer Wetterwirksamkeit nicht übergehen (Näheres siehe Abschnitt D, 2 unter Typ II). Auch in diesem Punkt wird der Unterschied zwischen einer meteorologischen und geographischen Betrachtungsweise der Bahnen deutlich.

Ein weiterer geographischer Gesichtspunkt — schon durch die Fassung des Themas gegeben — ist die regionale Einschränkung der Untersuchung auf Europa: damit soll die Beziehung zur Landschaft als Unterlage und Nutznießer der antizyklonalen Entwicklung hervorgehoben werden, im Gegensatz zu einer meteorologischen Behandlung des Themas, die den allgemeinen Mechanismus der Bahnen in den Vordergrund stellt.

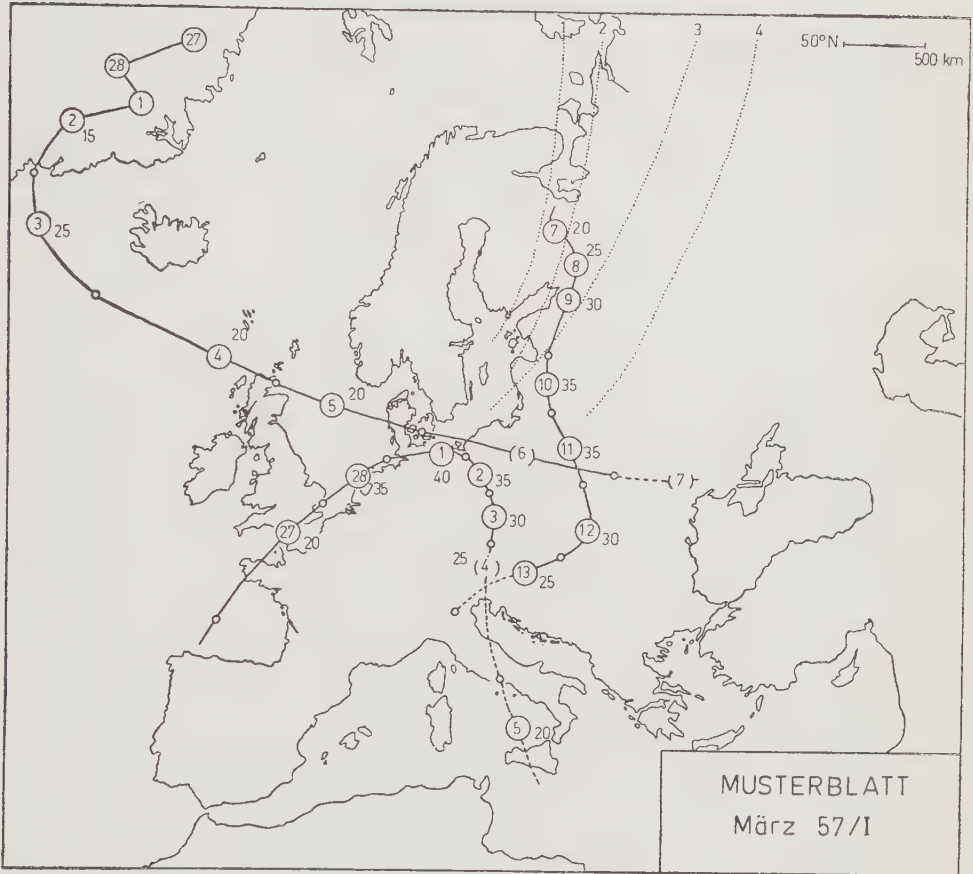
Nach diesen Erörterungen zur Abgrenzung des Bahnbegriffs unter einem klimatologisch-geographischen Gesichtspunkt und den methodischen Ausführungen in Abschnitt B können wir folgende Tatsachen für den Fortgang der Arbeiten festhalten: Die Hochdruckgebiete, deren Bahnen in dieser Arbeit aufgesucht werden sollen, sind nicht nur nach den Isobarenformen des Bodendruckfeldes zu kennzeichnen. Diese Bodenhochs können mit warmer oder mit kalter Troposphäre, mit verschiedenen Luftmassen gekoppelt und damit auch von verschiedener klimatologischer Auswirkung sein. Dementsprechend sind auch die Bahnen der Bodenhochs heterogen, mit ungleichartigen Steuerungsvorgängen verknüpft und klimatologisch betrachtet, mit verschiedenen Witterungsabläufen verbunden. Eine Behandlung nur der Bodenhochs gehört heute in das Gebiet der früheren Isobarenmeteorologie.

Unter Hochdruckgebieten sollen vielmehr komplexe Gebilde im dreidimensionalen Sinn verstanden werden. In dieser Sicht sind die Bahnen der Hochdruckgebiete im klimatologischen Sinn antizyklonale dynamische Einheiten, die — neben den zyklonalen Vorgängen — als Teilvorgänge der allgemeinen Zirkulation den Großaustausch innerhalb der Westdrift („Zone V“ nach FLOHN) über Europa bewirken. Eine logische Reihenfolge für die Behandlung dieses Zirkulationsgeschehens unter einem klimatologischen Gesichtspunkt wäre etwa die: statisch-genetisch, dynamisch-genetisch, dynamisch-effektiv. Die Bahnen der Hochdruckgebiete sind als dynamisch-genetische Einheiten den statisch-genetischen Wetterlagen und den tatsächlich spürbaren dynamisch-effektiven Wettereinheiten, wie Wärmewelle oder Kälteeinbruch etc. gegenüberzustellen. Alle drei verfolgen das gleiche Ziel auf verschiedenen Teilgebieten, nämlich: die Struktur und den tatsächlichen Witterungsablauf in Europa zu erfassen. Insofern ergeben sich auch methodische Übereinstimmungen mit der geographischen Behandlung der Kaltluftereinbrüche über Europa von BLUTHGEN (1949) oder der Wetterlagenklassifikation von BAUR (1948) oder HESS-BREZOWSKY (1952). Die Methode — eine vergleichende Statistik von „ähnlichen Fällen“ — wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

2. Aufstellung der Statistik

Die Hauptgrundlage dieser Arbeit ist eine Statistik der Hochdruckbahnen anhand der täglichen synoptischen Karten für einen Zeitraum von 11 Jahren (1947—1957). Der Untersuchungsraum umfaßt Europa von etwa 20° westl. Länge bis 40° östl. Länge (Halbinsel Kola — östliches Schwarzes Meer). Bei der Rekonstruktion der Bahnen wurde folgendermaßen verfahren: Der 0.00-z- bzw. 6.00-z-Karte (von 1947—48) des „Täglichen Wetterberichtes“ der Zentralstelle Kissingen bzw. Frankfurt/Offenbach wurden jeweils die täglichen Positionen der Hochdruckkerne entnommen,

in eine Arbeitskarte 1:2 Mill. eingetragen und die so gefundenen Punkte zu einer Bahn verbunden (siehe Muster). Hochdruckkeile lassen sich teilweise durch Kammlinien oder Achsen (punktierte Linie!), die nach den Winddivergenzen erhalten werden, darstellen. In sehr vielen Fällen konnte ohne Zwang das Keilende in einen kürzeren Keil mit vorgelagerter Hochzelle zerlegt werden (vgl. TEICH, S. 37), zumal dann, wenn gegenüber dem Vortag ein Luftdruckanstieg festzustellen und die Zelle in den



Keil einbezogen worden war (Position mit Datumsangabe in Klammern). Erweist sich ein Keil als eine kalte „Blase“, die an ein warmes Hoch anscheinend angebaut wurde, so wurde seine Verlagerung durch eine eigene Bahn dargestellt. Das gilt besonders für die isländischen und skandinavischen subpolaren Zwischenhochbahnen am Nordostabhang eines steuernden Hochs. In Zweifelsfällen konnte auch noch die 6.00-z-Karte der Zentralstelle, die 12.00-z-Karten des Seewetteramtes und die Karten von Potsdam herangezogen werden. Das Ergebnis dieser statistischen Erhebung waren 244 „kinematische Sammelkarten“ der Bodenhochs (nach MULTA-

NOWSKY), jeweils für einen halben Monat. Das beigegegebene Muster zeigt drei Hochbahnen für die erste Märzhälfte 1957; um die Kontinuität der Bahnen zu wahren, wurden die letzten Februartage mit erfaßt. Die großen Kreise enthalten im Innern die Datumsangabe; seitlich wurde die Intensität in mb (unter Weglassung der Hunderter) vermerkt. Die kleinen Kreise beziehen sich auf die 12.00-z-Karte; ihre Eintragung war nicht immer notwendig.

Der Ablauf des individuellen Jahres läßt sich anhand dieser Karten verfolgen. Sie können in späteren Arbeiten weiter ausgewertet werden, insbesondere zur Untersuchung der „Zugbahnenfolgen“ eines individuellen Jahres oder im durchschnittlichen Jahresablauf. Von einer Zusammenfassung dieser Sammelkarten über einen längeren Zeitraum hinweg wurde abgesehen, da die strukturelle Inhomogenität der Bodenbahnen keinerlei Rückschlüsse auf die allgemeine Verteilung, jahreszeitliche Verschiebung oder gar auf die Auswirkung der Bahnen zuläßt. Das ist erst möglich nach einer Klassifikation der Bahnen unter Berücksichtigung der Höhenkarte.

Daher wurde für jede antizyklonale Entwicklung nach dem in den „Musterbeispielen“ angegebenen Schema ein Karteiblatt entworfen. In ein Europakärtchen 1:30 Mill. wurde die Bahn des Bodenhochs mit den täglichen Intensitätsänderungen aus der halbmonatlichen Sammelkarte übertragen und ferner die Verteilung und Verlagerung der Druckgebilde in 5 km Höhe nach der absoluten Topographie der 500-mb-Fläche eingetragen. Selbständige Höhenhochs wurden durch rote Punkte, selbständige Höhentiefs (wenn erforderlich) durch blaue Punkte, Höhenhochkeile und Höhenträge durch ihre Achsenlinien (vgl. FLOHN, GM 1950, S. 103) angegeben. Die geringe zeitliche Differenz zwischen den 0.00-z-Positionen der Bodenhochs und den 3.00-z-Positionen der Höhendruckgebilde ist belanglos. Weitere Eintragungen erfassen die Frontdurchgänge in Mitteleuropa; sie können für eine spätere klimatologische Auswertung herangezogen werden. Mit Hilfe der Frontdurchgänge oder Frontlagen kann die Dauer einer antizyklonalen Entwicklung (vgl. Typ II) oder — besonders bei den subpolaren Bahnen der Typen VII und VIII — die Reichweite des zugehörigen Kaltluftausbruches ermittelt werden. Weitere textliche Bemerkungen, denen die Wetterübersicht am Schluß des „Täglichen Wetterberichtes“ zugrunde liegt, beziehen sich auf die allgemeine synoptische Lage und Entwicklung. Eine kurze Beschreibung des Witterungsablaufes in Mitteleuropa wurde den monatlichen Witterungsberichten von Nürnberg (bzw. der Zentralstelle Offenbach oder Potsdam/DDR) entnommen. Die Musterbeispiele Typ I_s und I_n zeigen die Form und die Ausführung eines vollständigen Karteiblattes (siehe S. 26 und 27).

Das Ergebnis dieser eben beschriebenen Statistik war eine Kartei der individuellen Bahnen. Damit besteht jederzeit die Möglichkeit, auf die individuellen Vorgänge zurückzugreifen. Eine rein quantitative Auszählung (vgl. Abschnitt B, Methodisches) würde wohl rascher zu Ergebnissen führen, aber der Einzelfall kann dann in Zweifelsfällen nie mehr rekonstruiert werden. Nach unserer Methode wird es auch vermieden, daß extreme Fälle, die für die eine Jahreszeit atypisch erscheinen, in einer anderen Zeit des Jahres aber durchaus zur Regel gehören, in einen zeitlichen Rahmen eingepreßt werden. Der kurze Untersuchungszeitraum von

11 Jahren ist für eine derartige Statistik schon ausreichend, da durch die qualitative Vorarbeit die atypischen Formen, deren Auftreten normalerweise nur durch eine langjährige Statistik verwischt werden kann, erkannt und ausgeschieden werden.

Die vergleichende Durchsicht und Auswertung dieser statistischen Karteblätter führt zur Aufstellung von Typen, d. h. zu einer Synthese in systematischer Hinsicht. Die Häufigkeitsverteilung der Typen im Jahresablauf schafft wiederum die Voraussetzung für eine zeitliche Synthese, die auch noch in den Rahmen dieser Arbeit gehört (siehe D, 3). Die regionale Wetterwirksamkeit der Bahntypen — bei gleichzeitiger Betrachtung der Tiefdruckgebiete — kann schließlich zu einer räumlichen Synthese führen, dem letzten geographischen Ziel: einer Gliederung Europas in witterungsklimatologische Räume. Diese regionalklimatologische Auswertung der Bahnen für ganz Europa ist Aufgabe späterer Untersuchungen und wird in dieser Arbeit lediglich aus methodischen Gründen zur Sprache kommen (siehe Abschnitt D, 1).

D) Synthetischer Teil

1.) Allgemeine Richtlinien für die Klassifikation und Beschreibung der Typen

Jede Klassifikation von Witterungseinheiten hat gleichzeitig zwei verschiedenen Forderungen Rechnung zu tragen. F. BAUR (1947) stellt beide in der Einführung zu seinen „Musterbeispielen europäischer Großwetterlagen“ einander gegenüber: „Bei der Auswahl der Typen mußte natürlich darauf Bedacht genommen werden, daß einerseits wesentlich verschiedene Großwetterlagen, insbesondere auch hinsichtlich der Witterung im mittleren Kartenraum (Mitteleuropa) verschiedene Großwetterlagen, nicht in einem Typus zusammengefaßt werden, daß aber andererseits die Zahl der Typen nicht zu groß wurde“ (S. 3). Art und Zahl der Typen mit ihren mannigfachen Übergangsformen sind je nach dem Bearbeiter, dem Einteilungsprinzip, das der Typenbildung zugrunde gelegt wird, oder nach dem Zweck, für den die Klassifikation bestimmt ist, verschieden. Noch mehr als die Wetterlagen sind auch die Bahnen der Hochdruckgebiete als dynamische Einheiten, „ebenso wie biologische Gebilde, nicht leicht klar zu unterscheiden, noch schwerer in Klassen einzuteilen. Ein Beispiel für viele: Die von MÜGGE unterschiedenen polaren und subtropischen Wettertypen sind versuchsweise von BAUR ausgezählt worden; es ergaben sich mehr als 90 Prozent unreine oder gemischte Typen. Jede Betrachtung im Sinne der Witterungsklimatologie nötigt aber zu einer Typeneinteilung der vorkommenden Wetterlagen; sie ist eine Grundvoraussetzung hierzu“ (FLOHN, 1954, S. 35). Die Subjektivität jeder Klassifikation von Witterungseinheiten — seien es Wetterlagen oder Bahnen — ist nicht zu leugnen. Auch KLEIN (1957) versäumt nicht, darauf hinzuweisen: „Thus selection of the final tracks was necessarily a subjective process in which many different factors were influential“ (S. 11). Außerdem darf nicht übersehen werden, daß der Typeneinteilung, die im folgenden versucht werden soll, nur der Zeitraum von 1947 bis 1957 zugrunde gelegt wurde. Häufigkeit und jahreszeitliche Verteilung der Typen schwanken

von Jahr zu Jahr, jedoch die Grundeigenschaften, die einen Typ kennzeichnen, sollen annähernd die gleichen bleiben. Eine allgemeine Brauchbarkeit dieser Klassifikation in ihren Grundzügen wird erst nach dem Verhalten der Bahnen in den folgenden Jahren zu entscheiden sein.

Für eine Klassifikation, die geographischen Belangen gerecht werden soll, können keine rein meteorologischen Charakteristika der Bahnen entscheidend sein. Es wurde auch davon Abstand genommen, das gesamte Material einheitlich nach einem einzigen Gesichtspunkt zu ordnen. Das Ergebnis wäre zwar ein streng objektives, aber künstliches System, das die Vielfalt des Witterungsgeschehens in einen starren Rahmen preßt.

Die Einwände gegen eine primäre zeitliche Gliederung des statistischen Materials wurden bereits in der Einführung (Abschnitt A) dargelegt: eine starre Klassifikation nach Monaten (mittlere monatliche Bahnkarten nach Klein u. a.) oder solaren Wendepunkten (Bahnkarten für die kalte und warme Jahreszeit) zerstört die organische und dynamische Struktur des individuellen Jahres. Der Gesichtspunkt der Zeit soll nicht für die Aufstellung der Typen selbst (vgl. BLUTHGEN 1940, S. 27), sondern erst im Anschluß an die Typeneinteilung bei der Behandlung des Jahresganges berücksichtigt werden.

Verschiedene Möglichkeiten einer rein regionalen Gliederung schieden ebenfalls aus. Die Nachteile einer Auszählung der Bahnhäufigkeiten für bestimmte Gradnetzfelder wurden in Abschnitt B erörtert. Man könnte auch Lage und Häufigkeit der Schnittpunkte der individuellen Bahnen mit Gradnetzlinien (z. B. Meridianen) ermitteln. Auf diese Weise fand z. B. WEICKMANN (1922) die Hauptbahnen der Tiefdruckgebiete über dem Mittelmeer. Da aber den individuellen Hochbahnen eine größere Toleranzbreite als den Tiefbahnen eingeräumt werden mußte, kann für die Typeneinteilung nicht eine so exakte Methode, die sich nur bei Tiefdruckgebieten (vgl. Abschnitt C, 1) durchführen läßt, angewandt werden. Außerdem wäre hierbei eine Trennung von Boden- und Höhenbahnen notwendig; dies entspricht wiederum nicht unseren Richtlinien für die Aufstellung der Statistik. Aus ähnlichen Gründen kam auch die von MARKGRAF und MACHT (1956) bei der Typisierung der nordatlantischen Tiefbahnen nach rein regionalen Gesichtspunkten angewandte Methode nicht in Betracht: am Westrand des Untersuchungsraumes (Nordatlantik) wurden Gradnetzfelder als Ausgangsräume festgelegt. In Anbetracht der herrschenden West-Ost-Drift konnten die Bahnen 1. nach dem Auftreten in einem der (drei) Felder und 2. nach ihrer weiteren Zugrichtung klassifiziert werden. Diese Methode können wir weder auf unser Thema an sich, noch auf unseren Raum übertragen; denn gerade am Westrand Europa können die Hochbahnen häufig nur nach Hochkeilen festgelegt werden, so daß gerade hier der subjektive Fehler bei der Rekonstruktion am größten ist. Die weitere Verfolgung dieser Bahnen ergibt — wie einige Versuche zeigten — mehrere Bahnfelder, die synoptisch wie auch witterungsmäßig grundverschiedene Einzelbahnen umfassen. Diese streng formale und schematische Gliederung kann zwar für ein Seegebiet, aber nicht für den horizontal wie vertikal so mannigfach gegliederten europäischen Raum Anwendung finden.

Der Meteorologe wird die Typeneinteilung weder zeitlich noch regional, sondern in erster Linie nach physikalisch-genetischen Gesichts-

punkten (Entstehungsbedingungen, Initialentwicklungen, Bewegungsursachen etc.) vornehmen. Er wird für diesen Zweck die Bahnen großräumig zirkumpolar verfolgen. Wir betrachten die Bahnen klimatologisch als gegebenen Gesamtvorgang (siehe Abschnitt C, 1), ohne den letzten physikalischen Ursachen im einzelnen nachzugehen. Da wir nur einen räumlich begrenzten Ausschnitt der Nordhalbkugel erfassen, können die großräumigen atmo-physikalischen Kausalzusammenhänge nicht mehr im Vordergrund stehen.

Inwieweit wir die synoptischen Vorgänge in unserem Untersuchungsraum berücksichtigen, wurde bei der Definition der individuellen Bahnen dargelegt (Abschnitt C, 1). Das gleiche gilt für die Typen als Einheiten höherer Ordnung. In der Statistik der Einzelbahnen wurde der Ablauf am Boden und in 5 km Höhe festgehalten; für die Gliederung der Typen ist der gleichartige oder ähnliche Ablauf in diesen beiden Druckniveaus während der Hauptphase der antizyklonalen Entwicklung entscheidend. Dieser synoptische Gesichtspunkt wird bei der Klassifikation mit dem rein geographischen, dem räumlichen, kombiniert. Die in Abschnitt C, 1 besprochene Bahnentwicklung vom 13. Juli 1947 ff. wird daher zu den Azorenbahnen gerechnet, obwohl sie streng genetisch (im meteorologischen Sinn!) nicht auf einen Vorstoß des Azorenhochs zurückgeführt werden kann; aber die Hauptphase der Bahn ist synoptisch (und auch witterungsmäßig) den echten Azorenvorstößen ähnlich. Die Begriffe „Azorenbahn“ oder „subpolare Bahn“ etc. sind daher in dieser Arbeit regional zu verstehen, wenn sie auch in den meisten Fällen mit den genetischen(!) übereinstimmen. Jeder Typ vereinigt in sich also räumlich begrenzte ähnliche Fälle, die — ebenso wie in der heutigen „Mittelfristprognose“ — Boden- und Höhendruckfeld gleichzeitig erfassen.

Für die Klassifikation selbst sind also nur synoptische und räumliche Gesichtspunkte maßgebend. Erst bei der Einzelbeschreibung und näheren Charakterisierung der Typen — im Anschluß an die Typengliederung — sind weitere Gesichtspunkte zu beachten. Es wurde bereits in der Einführung betont, daß die Wetterwirksamkeit der Bahntypen im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr untersucht werden kann, wenngleich die regionale Auskirkung das letzte geographische Anliegen der Zugbahn-Statistik darstellt. Die Beschreibung der Typen muß jedoch bereits auf dieses Ziel ausgerichtet sein. Als Arbeitshypothese sei daher zunächst angenommen, daß die Wetterwirksamkeit einer Bahn oder eines Bahntyps von dem Zusammenwirken vier verschiedener Faktoren abhängig ist, nämlich

1. von der geographischen Lage (regionale Verteilung) der Bodenbahnen eines bestimmten Bahntyps;
2. von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Hochdruckgebiete während ihrer Wanderung auf bestimmten Bahnen bzw. von der Dauer des Hochdruckeinflusses;
3. von der horizontalen Reichweite (Einflußbereich) der Bahnen;
4. von der Jahreszeit, in der eine Bahn begangen wird.

Man wird bei dieser Aufzählung vor allem die Intensität (Druckangabe) der Hochdruckgebiete vermissen. Diese ist einmal in der horizon-

talen Reichweite der Bahnen (Punkt 3), die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Auswirkung steht, sodann in der vertikalen Mächtigkeit der Hochdruckgebiete, die wiederum schon bei der Typeneinteilung berücksichtigt worden ist, enthalten. Selbst der auf den Meeresspiegel reduzierte Luftdruck ist für die eigentliche Wetterwirksamkeit nur von relativer Bedeutung; hierbei sind vor allem jahreszeitliche Unterschiede in der allgemeinen Druckverteilung in Erwägung zu ziehen etc. In der Statistik wurde die Intensität nur deswegen erfaßt, damit die täglichen Druckänderungen der Hochzellen im Verlauf einer Bahn verfolgt werden können.

Die geographische Verteilung der Bodenbahnen eines Bahntyps, die in Sammelkarten zusammengefaßt werden können, wird jeweils im Zusammenhang mit der synoptischen Entwicklungsgeschichte erörtert. Kinematische Karten werden nur als Arbeitskarten angefertigt, aus drucktechnischen Gründen werden nur statistische Sammelkarten der Bodenhochs veröffentlicht. In diesen Sammelkarten werden die 24stündigen Positionen der Hochdruckgebiete durch gleichschenklige Dreiecke ($\blacktriangle$ = Winter, $\blacktriangleright$ = Frühjahr) und Kreise ($\bullet$ = Sommer, $\bigcirc$ = Herbst) dargestellt. Die Spitzen der Dreiecke und die Striche an den Kreisen zeigen in Fortpflanzungsrichtung. Insofern ist unsere statistische Sammelkarte im Grunde genommen eine kinematische oder dynamische Karte. Bei einer gleichmäßigen Bündelung der individuellen Bahnen (auf der kinematischen Sammelkarte) oder einer entsprechenden linearen Häufung der Hochdruckpositionen (auf der statistischen Sammelkarte) genügt die Angabe einer mittleren Achse; bei stärkerer und ungleichmäßiger Streuung sind die äußeren Umhüllenden der Zugbahnscharen wesentlich. Von einer Sammelkarte, die die mittleren Achsen oder die Umhüllenden sämtlicher Bahntypen nach den 20 verschiedenen Einzelkarten enthält, wird bewußt abgesehen, weil diese Karte nicht nur unübersichtlich wäre, sondern wegen der Verschiedenartigkeit der Typen auch leicht zu falschen Schlüssen verleiten könnte; denn teilweise sind räumliche Überschneidungen der Bodenbahnen verschiedener Typen festzustellen; streckenweise gleichliegende Bodenbahnen können sogar bei verschiedenen Bahntypen auftauchen: es gehört eben zum Wesen vorliegender Klassifikation, daß selbst streckenweise gleichliegende Bodenbahnen getrennt werden, wenn sie ungleichartigen Steuerungstypen angehören.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit könnte man ohne weiteres — wenn es im Grunde genommen auch recht langwierig ist — nach dem Abstand der täglichen Positionen berechnen. Sie wird sich allerdings von Tag zu Tag ändern, so daß wir nur eine mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit für jede Bahn angeben könnten. Diese Geschwindigkeitsänderungen von Tag zu Tag sind von den synoptischen Entwicklungsstadien des antizyklonalen Systems abhängig; da bei der Abgrenzung der Typen auf eine gleichartige synoptische Entwicklung geachtet wurde, kann erwartet werden, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Hochdruckgebiete, die in einem synoptischen einheitlichen Typ zusammengefaßt wurden, annähernd gleich sind. Von der Verlagerungsgeschwindigkeit (in km/Tag) einer Hochzelle ist wiederum die Dauer (in Tagen) des Hochdruckeinflusses abhängig; je langsamer eine Hochzelle auf bestimmter Bahn wandert, um so länger wird der Hochdruckeinfluß an einer bestimmten Station im Einflußbereich (s. u.) der Bahn anhalten. Die freie Atmosphäre wird infolge

dynamischer Absinkbewegungen (freier Föhn) in zunehmendem Maße erwärmt. Im Sommer wird diese Art der Erwärmung durch die ungehinderte Einstrahlung (Tageslänge!) noch verstärkt; im Winter bildet sich am Boden infolge ungehinderter Ausstrahlung — bei Fehlen einer Hochnebeldecke — eine flache, aber zähe bodennahe Kaltlufthaut, in der die Temperaturen immer mehr absinken. Das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Auswirkung und Dauer ist enger als zwischen Geschwindigkeit und Auswirkung. Aus diesem Grunde soll nicht die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bahnen eines Typs, sondern die Dauer des Hochdruckwetters — bezogen auf eine bestimmte Station — untersucht werden. Diese „Dauer“ darf natürlich nicht mit der Lebensdauer einer Hochzelle auf bestimmter Bahn gleichgesetzt werden! Nur bei Typ I sind wegen der geringen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der großen horizontalen Reichweite und der allgemeinen synoptischen Verhältnisse Lebensdauer und Einflußdauer nahezu gleich. Bei Typ II kann die Lebensdauer eines Hochdruckgebietes, das von der Biscaya zum Kaspisee wandert, 6 Tage erreichen, während der Einfluß für eine Station im Bereich der Bahn nur 1 Tag anhalten kann. Zunächst einmal bestimmen wir die Dauer nur für das nördliche Bayern mit Nürnberg als ausgewählter Station. Die Frontdurchgänge und die Schilderung der Wetterlage in den monatlichen Witterungsberichten werden zur zeitlichen Abgrenzung des Hochdruckwetters herangezogen. Der nächste Schritt ist die Untersuchung der regional verschiedenen Dauer, und zwar gleichzeitig mit der horizontalen Reichweite der Bahnen.

Hinsichtlich der räumlichen Abgrenzung des Einflußbereiches ist wiederum ein Vergleich der Bahnen mit den Kaltlufteinbrüchen einerseits und den Wetterlagen andererseits aus methodischen Gründen naheliegend. BLÜTHGEN (1940) untersuchte die räumliche Reichweite der Kaltlufteinbrüche an Hand von ausgewählten Stationen in verschiedener Entfernung vom Zentrum des Kaltlufteinbruches. FLOHN-HUTTARY (1950) fanden den Einflußbereich der Vb-Lagen auf Grund der Beziehungen von spezifischer Niederschlagsdichte dieser Wetterlage zur mittleren Niederschlagsdichte aller Wetterlagen (vgl. hierzu auch die Untersuchungen von MAEDE zum Einflußbereich von weiteren Wetterlagen). In ähnlicher Weise wird man auch die Bahnen auswerten können. Mit Hilfe der Äquivalenttemperatur oder äquivalentpotentionellen Temperatur könnte man jeweils die von den „Bahnen“ verfrachteten Luftmassen erfassen; außerdem kommt hierbei jedoch, besonders für den Geographen, die ganze Fülle der elementaren Eigenschaften dieser derart gestalteten Luftmassen zum Tragen. Nach dem Einflußbereich dieser Witterungselemente könnte die horizontale Reichweite der Bahnen oder Bahntypen bestimmt werden. Es wird also das Verhalten der klimatologischen Elemente — sei es der einfachen oder der komplexen, z. B. der Luftmassen, deren Bildungs- und Umwandlungsstätten gerade die selbständigen Hochdruckgebiete sind, etc. — für eine Auswahl von Stationen oder Bereichen (z. B. Gradnetzfelder oder irgendwelcher Flächeneinheiten) in verschiedener Entfernung von der Bahn zu prüfen sein. Danach können wir den tatsächlichen bzw. mittleren Einflußbereich einer individuellen Bahn bzw. eines Bahntyps abgrenzen. Gleichzeitig erfassen wir mit dieser verfeinerten Statistik die regional verschiedene Dauer (s. o.) und nach dem Verhalten aller klimatologischen Elemente die Auswirkung selbst in allen ihren Einzelheiten.

Da die Art der Auswirkung vor allem jahreszeitlich verschieden ist, müssen wir ferner die Häufigkeit der Bahntypen in den einzelnen Jahren, Monaten oder meteorologischen Jahreszeiten auszählen. Die Untersuchung der zeitlichen (ebenso wie der regionalen, vgl. Punkt 1) Häufigkeitsverteilung gehört voll und ganz in den Rahmen dieser Arbeit, während „Dauer“, Einflußbereich und Auswirkung hier nur angedeutet werden können und späteren Arbeiten vorbehalten sind. Erstmals führen wir an dieser Stelle den Gesichtspunkt der zeitlichen Gliederung bei der Behandlung der Typen ein, von der „Dauer“ abgesehen. Die Bahntypen können zeitlich nach zwei Gesichtspunkten differenziert werden: nach der jährlichen oder nach der monatlichen Häufigkeitsverteilung.

In Tabelle 3 (S. 66) wird die Häufigkeit aller Typen in den einzelnen Jahren unseres 11jährigen Untersuchungszeitraumes, ferner der prozentuale Anteil jedes Bahntyps an dem gesamten antizyklonalen Wettergeschehen übersichtlich zusammengestellt. Die weitere Differenzierung dieser Tabelle, und zwar getrennt für jeden Bahntyp nach Monaten (als Beispiel siehe Tabelle 2, Typ I, S. 32), wird aus räumlichen Gründen nicht veröffentlicht. Vorläufig sind diese nackten Zahlenfolgen auch ohne klimatologischen Wert, solange wir nicht das Wetterbild jedes einzelnen Bahntyps in den verschiedenen Jahreszeiten kennen. Dann erst können wir die individuellen Jahre, Monate oder Jahresabschnitte nach dem Auftreten gewisser Bahntypen vergleichend betrachten. Das Problem der Jahreszeitentypen (z. B. Wintertypen nach TEISSERENC DE BORT, FINCK, HESSE u. a. oder der Kaltlufteinbruchtypen nach BLUTHGEN) kann auf der Grundlage der Zugbahnen neu aufgegriffen werden. Bei diesen Fragestellungen stehen allerdings schon die typischen Abweichungen vom idealen Jahresgang im Vordergrund.

Das Ziel unserer Untersuchung ist zunächst einmal der normale Jahresablauf der antizyklonalen Entwicklungen. Für diesen Zweck wird die Verteilung der Bahnen nach Monaten (ohne Rücksicht auf das Einzeljahr!) für alle Typen ausgezählt (Tabelle 4, S. 66). Bei der Beschreibung der Typen wird die monatliche Häufigkeitsverteilung zum Teil weiterhin nach regionalen Gesichtspunkten — die Typen wurden häufig noch nach der Verteilung der Bodenbahnen differenziert — aufgegliedert. (Vgl. Tabelle 2, Typ I, S. 32, als Muster.)

Nach dieser vorwiegend analytischen Behandlung der Faktoren, von denen die Auswirkung abhängig ist, kann die Auswirkung selbst erörtert werden. Dabei wird man jeweils auf die Ergebnisse, die die Untersuchung der oben genannten Faktoren ergeben hat, zurückgreifen. Zusammenfassend kann zunächst das normale Wetterbild eines jeden Bahntyps geschildert werden. Einer dynamisch-klimatologischen Synthese entspricht aber weit mehr die Schilderung des Witterungsablaufes mit den regionalen Abwandlungen. Einige ausgewählte „Musterbeispiele“ von individuellen Bahnen veranschaulichen neben der synoptischen Entwicklung auch den Witterungsablauf der einzelnen Bahntypen (bei Typ I näher ausgeführt!), sei es an Hand der textlichen Bemerkungen oder an Hand der Klimadiagramme (S. 33).

Mit diesen Ausführungen sollte einmal grundsätzlich die klimatologische Bedeutung der Bahnen, die meist nur schlagwortartig angedeutet wird,

erörtert werden, d.h. der Weg, der von der Rekonstruktion der individuellen Bahnen nach der Wetterkarte des Meteorologen zur Typengliederung und zu einer klimatologischen Auswertung der Bahntypen führen kann. In dieser Arbeit sollen nur die Grundlagen dafür geschaffen werden.

Aus dem 800 Einzelfälle umfassenden Bahnmaterial wurden 10 verschiedene Typen herausgesondert. Insgesamt konnten 628 Fälle einem dieser 10 Typen zugeordnet werden. Die restlichen Fälle — das sind 21% — wurden vorläufig weggelassen, da ihre Zuordnung nicht ganz sicher war. Möglicherweise handelt es sich bei diesen nicht um Extremfälle oder Besonderheiten, sondern um ganz normale Bahnen gewisser Typen, die in dem 11jährigen Zeitraum kaum aufgetreten sind und daher im statistischen Mittel nicht als eigene Typen anerkannt werden konnten. Es wird sich an Hand einer zeitlich erweiterten Statistik erst herausstellen, ob folgende Klassifikation noch um einen oder mehrere Typen erweitert werden muß oder ob die Aufstellung von Untertypen günstiger ist. Wir unterscheiden zunächst folgende 10 Typen:

A) Azorenbahnen

- I. Dynamische Vorstöße des Azorenhochs nach Mitteleuropa mit Stabilisierung in Mitteleuropa;
- II. Azorische Zwischenhochvorstöße nach Mittel- und Osteuropa;
- III. Azorenvorstöße nach Mittel- und Osteuropa mit nachfolgender Stabilisierung in Osteuropa;
- IV. Azorenvorstöße mit Schwerpunkt über Südwesteuropa;

B) Azorisch-subpolare Bahnen

- V. West- und nordeuropäische Bahnen (vorwiegend meridional gerichtete Azorenvorstöße, z.T. bereits mit subpolarem Aufbau);
- VI. Azorisch-subpolare Bahnen mit Schwerpunkt über den Britischen Inseln (Aufbau und Verlagerung durch Druckwellen verschiedener Herkunft);

C) Subpolare Bahnen

- VII. Isländische Zwischenhochbahnen;
- VIII. Skandinavische Zwischenhochbahnen;
- IX. Skandinavische selbständig steuernde Bahnen;

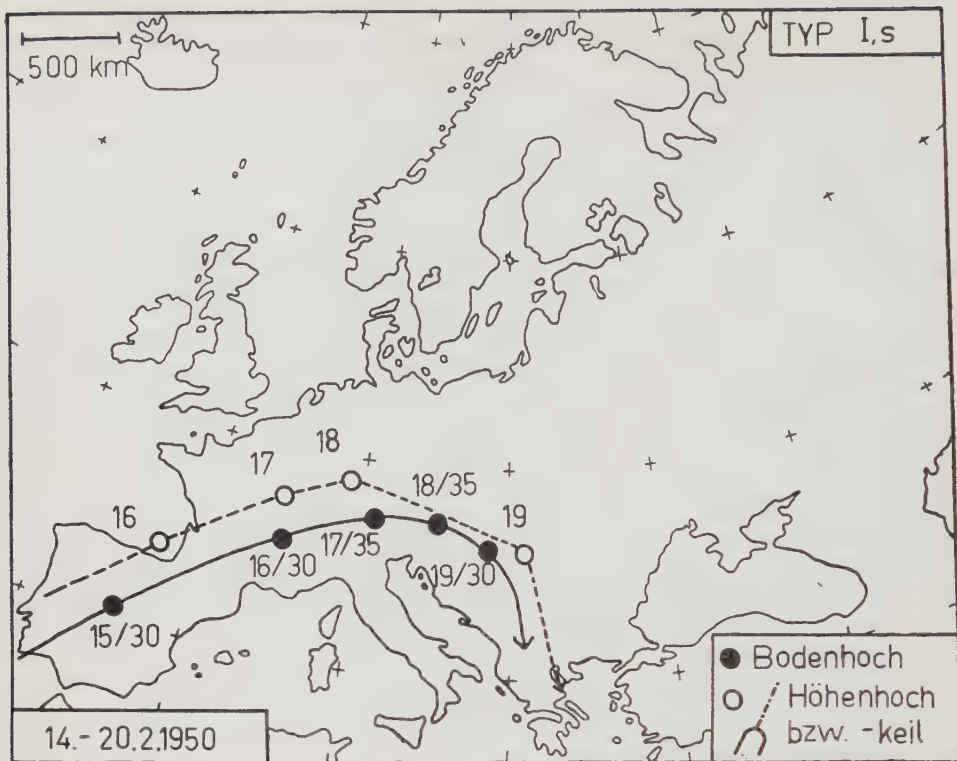
D) X. Hochbahnen östlicher Herkunft

2.) Systematik der Typen

Typ I:

Dynamische Vorstöße des Azorenhochs nach Mitteleuropa

mit nachfolgendem Aufbau eines mitteltroposphärisch warmen Hochdruckgebietes über Mitteleuropa. Der Höhepunkt dieser antizyklonalen Entwicklung wird im „Katalog der Großwetterlagen Mitteleuropas“ nach HESS-BREZOWSKY (1952) jeweils als „Hoch Mitteleuropa“ („HM-Lage“) statistisch erfaßt. Dazu zählen aber auch jene Hochdruckgebiete, die von Nordwesten her auf den Kontinent übergreifen (siehe Typ VI) oder als



Dynamischer Vorstoß des Azorenhochs nach Mitteleuropa

(Spanien — Alpen — Südosteuropa)

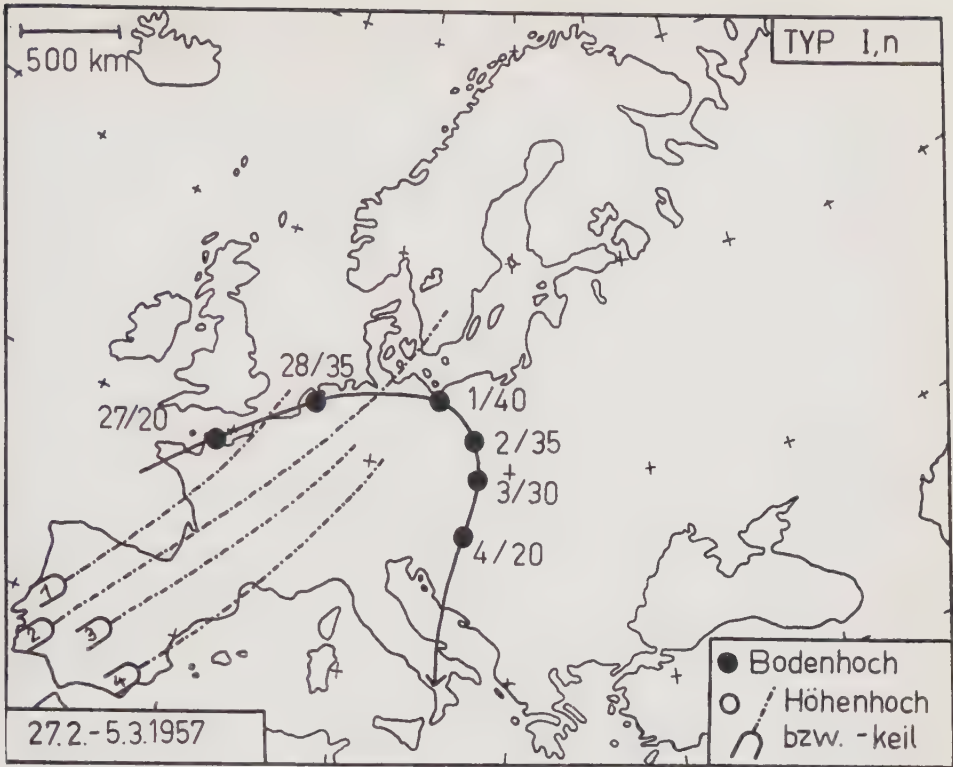
Synoptische Entwicklung und allgemeiner Witterungsablauf (nach „Tägl. Wetterber.“, Bad Kissingen)

14. 2. Abschluß der Westlage durch Zwischenhochaufbau von Westen her;
15. 2. Genetische Verknüpfung der Wetterentwicklung über Europa mit den Vorgängen über dem nordöstlichen Nordamerika:
 - a) umfangreiche Antizyklone über Labrador — anhaltender Warmluftstrom auf der West- und Nordseite →
 - b) Abdrängung der über Ostkanada lagernden hochreichenden Kaltluft nach NE, Wanderung eines Kaltlufttropfens in den Mittelatlantik, Verschiebung der Kaltluftzunge nach Osten →
 - c) durch den nach Süden gerichteten Kaltluftstrom Anregung eines warmen Gegenstromes über Westeuropa → Hochaufbau über der Pyrenäenhalbinsel;
16. 2. kalter Druckfall bei den Azoren — warmer mitteleuropäischer Druckanstieg; Nordostverlagerung der spanischen Antizyklone in den Alpenraum führt zu Bewölkungsauflockerung und Verstärkung der südlichen Bodenwindkomponente, Temperaturanstieg (s. u.);
17. 2. Weitere Festigung des Alpenhochs (noch in 225 mb abgeschlossenes Steuerungszentrum), Hochdruckwetter in ganz Süd-, West- und Mitteleuropa von längerer Dauer;
18. 2. keine wesentlichen Änderungen nach Lage und Intensität;
19. 2. Abschwächung des festländischen Hochs durch hochreichende Abkühlung über West- und Nordwestdeutschland; langsame Ostverlagerung des Höhentropes über Ostrußland;
20. 2. Abbau der südeuropäischen Antizyklone durch Druckfall am Boden und in der Höhe.

Regionaler Witterungsverlauf:

Nordbayern (Nürnberg): Hochdrucklage vom 17.—19. 2. 1950

Hochaufbau über den Alpen: wolkenarm, sonnig, schwach windig; gleichzeitig Erwärmung; am Nachmittag des 20. 2. erste Störungen.



Dynamischer Vorstoß des Azorenhochs nach Mitteleuropa

(Biscaya — Kanal — Niederlande — Pommern — Süddeutschland)

Synoptische Entwicklung und allgemeiner Witterungsablauf (nach „Tägl. Wetterber.“, Frankfurt)

27. 2. Warmluftadvektion auf der Vorderseite des atlantischen Zentraltiefs, Verstärkung des westeuropäischen Druckanstieges; kräftiger Höhenhochkeil: Bodenhochaufbau (1025 mb);
28. 2. Verstärkung des Hochs am Kanalausgang auf über 1035 mb; geringe Ostverlagerung;
 1. 3. Weitere Ostverlagerung: der größte Teil Deutschlands unter Hocheinfluß: bei verbreiteter Wolkenlosigkeit Verstärkung der Nachtfroste; Ostbayern auf der kalten Seite des Hochs: schwache Schneefälle, an der Westflanke Warmluftstrom;
 2. 3. Hoch unverändert, nur wenig abgeschwächt über Mitteleuropa; Strahlungswetter nach leichtem Nachtfrost; Temperaturen allgemein etwas höher als am Vortag; an der Ostflanke des Hochs Kaltluftzufuhr ins Mittelmeer; Kaltlufttropfen wandert von CSR nach Jugoslawien, ein weiterer über Mittelrußland;
 3. 3. Höhenkeil von Spanien nach Finnland bleibt erhalten; zwar Abschwächung des mitteleuropäischen Hochs, aber weiterhin wetterbestimmend;
 4. 3. Luftdruckfall über Mitteleuropa; das noch wetterbestimmende Hoch wird abgeschwächt;
 5. 3. rascher Abbau von Nord nach Süd.

Regionaler Witterungsverlauf:

Nordbayern (Nürnberg): Hochdrucklage vom 28. 2.—5. 3.:

Am 28. 2. langsame Besserung und spätere Aufheiterung; vom 1.—5. 3. heiter und trocken; bei leichten Ost- und Südostwinden anfangs Temperaturen 3—7°, am 4. und 5. 3. mit fortschreitender Erwärmung 12—15°. Nachts noch ziemlich kalt (3—8° Frost!); am 3. 5. noch minus 9—12° in Erdbodennähe!

Zwischenstadium im Verlauf eines mit geringer Geschwindigkeit von der Biskaya nach Osteuropa wandernden Hochdruckgebietes auftreten (siehe Typ III).

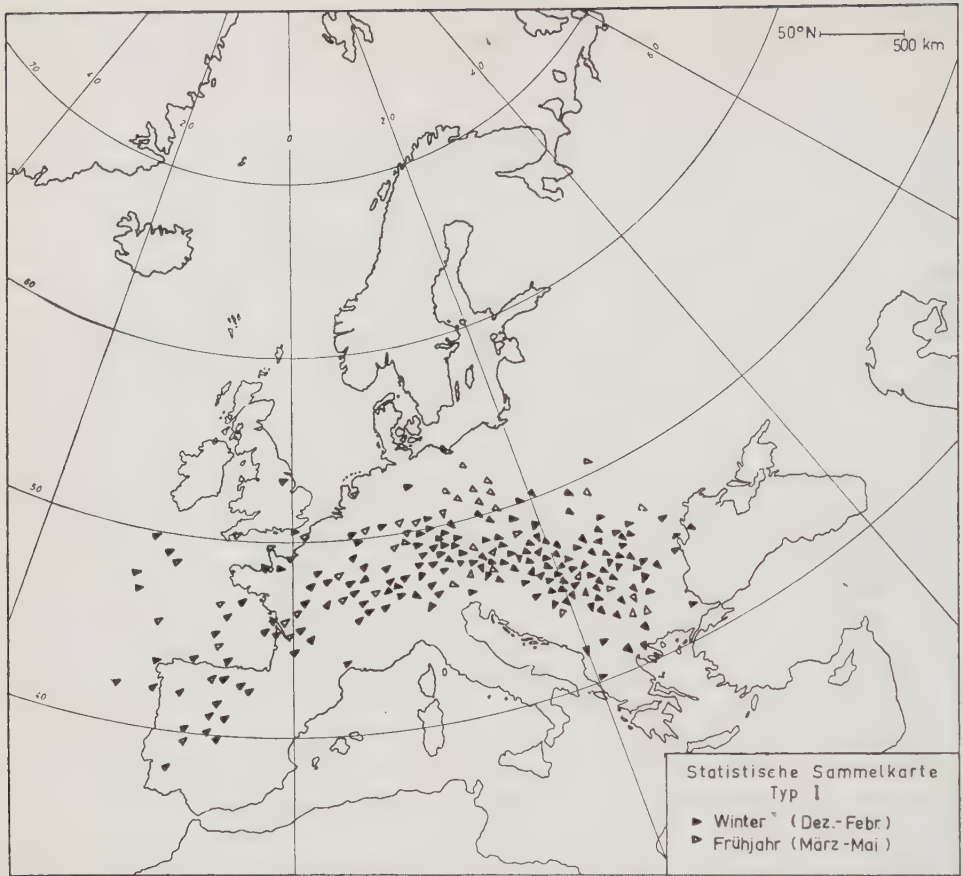
Ausgehend von den Vorgängen in der Höhe (500-mb-Niveau), soll zunächst die synoptische Entwicklung dieses Typs geschildert werden, soweit dies zum Verständnis der klimatologischen Erörterungen notwendig ist. Nach einem vom grönländisch-isländischen Raum in den Mittelatlantik gerichteten hochreichenden Kaltluftausbruch wird ein warmer Kompensationsstrom nach West- und Mitteleuropa eingeleitet. Die dadurch hervorgerufene Hebung des mitteltroposphärischen Druckniveaus verstärkt sich bei gleichzeitiger Verlagerung von der Biscaya nach Mitteleuropa. Darin ist die Abgrenzung zu unserem Typ V zu sehen, bei dem die Aufsteilung der Höhenisobaren bzw. Höhenisohypsen und die Wanderung des abgeschnürten Höhenhochs vorwiegend in meridionaler Richtung über Westeuropa erfolgt. Nicht immer kommt es bei Typ I zur Ausbildung eines selbständigen Höhenhochs. In einigen Fällen wandert das Bodenhoch, mit dem Höhenhoch gekoppelt, von Südwesten (Biscaya oder Pyrenäenhalbinsel) her nach Mitteleuropa (siehe Musterbeispiel Typ I, s). Häufiger sind schon die Entwicklungen, bei denen die Abschnürung eines Höhenhochs erst über Frankreich oder Mitteleuropa erfolgt. In sehr vielen Fällen bleibt jedoch der Kern zwar im Süden oder Südwesten liegen, aber dann wächst ein kräftiger Ausläufer in der Höhe nach Mitteleuropa vor (vgl. Musterbeispiel Typ I, n), oft in meridionaler Erstreckung von Afrika bis Südsandinavien reichend. Verharrt gleichzeitig ein Kaltlufttropfen über dem östlichen Mittelmeer, so bildet sich in der Höhe häufig eine Brücke zwischen einem azorischen Höhenkeil und einem Keil über dem südöstlichen Europa und der Türkei.

Da der Höhenhochkeil bzw. das selbständige Höhenhoch über Mitteleuropa auf- und abgebaut wird, während über dem östlichen Europa ein kalter Höhentrog entsteht, können auch die Bodenhochs nicht nach Osteuropa übergreifen und nur bis zum Karpatenrand verfolgt werden, im Gegensatz zu den Typen II und III. Die Entwicklung am Boden geht in der Weise vor sich, daß ein Hochdruckgebiet von der Biscaya nach Frankreich und Mitteleuropa vordringt, wo es den Höhepunkt seiner Entwicklung erreicht (im Gegensatz zu Typ III). In Analogie zum Monsunvorstoß und Monsundurchbruch ROEDIGERs könnte man diese Entwicklung als „Azorenhochdurchbruch“ bezeichnen, da im Gegensatz zu den Azorenvorstößen (siehe Typ II) das azorische Bodenhoch, mit dem Höhenhoch oder Höhenkeil gekoppelt, abwandert, so daß es von Westen her neu aufgebaut werden muß. Die Stabilisierung der Bodenhochs in der Höhe erklärt die geringe Verlagerungsgeschwindigkeit; in Mitteleuropa herrscht Hochdruckwetter von längerer Dauer (s. u.). Häufig wird die Zelle am Ost-Alpenrand oder im pannonischen Raum stationär. Eine lineare Bahn ist bei diesen Fällen nicht mehr anzugeben, da der Kern nur geringfügig hin- und herpendelt. Das Hoch zerfällt an Ort und Stelle; es lassen sich gelegentlich noch einzelne Kerne im Süden nachweisen. Im Winter wird das Ostalpenhoch häufig an eine russische Antizyklone „angebaut“. Im Isobarenbild des Bodendruckfeldes wird ein weit nach Südwesten vorgeschobener Ausläufer eines russischen Hochs vorgetäuscht, bedingt durch den relativ hohen Druck der östlichen Antizyklone. Erst auf Grund der Höhenkarten

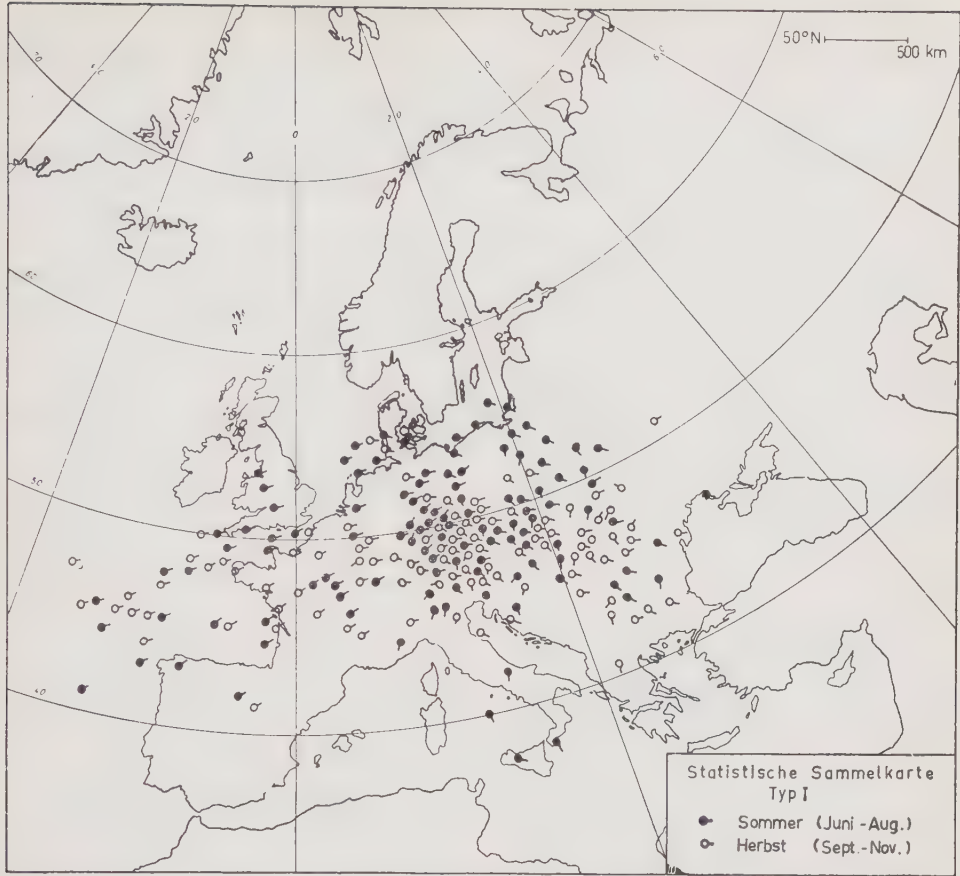
(relative Topographie) kann dieser Bodenhochkeil als dynamischer Vorstoß des Azorenhochs gedeutet werden. Echte (= aktive) Vorstöße des östlichen Aktionszentrums entgegen der Westostdrift — auch in der Höhe — werden bei Typ X behandelt.

Die eingehende Untersuchung dieser mit wenigen Worten angedeuteten synoptischen Entwicklung — insbesondere hinsichtlich der aerologischen Entwicklung, der Achsenneigung des Hochdrucksystems während der Verlagerung etc. — ist Aufgabe des Meteorologen. An dieser Stelle trennen wir uns von der meteorologischen, reinen Synoptik und wenden uns wieder klimatologischen Fragestellungen zu. Durch die vergleichende synthetische Betrachtung von Boden- und Höhenentwicklung versuchen wir, der klimatologischen Auswirkung wenigstens einen kleinen Schritt näher zu kommen als bei einer rein auf das Bodendruckfeld ausgerichteten Betrachtungsweise. Die Abgrenzung des Bahntyps erfolgte nach synoptisch-regionalen Gesichtspunkten für einen klimatologischen Zweck (siehe Abschnitt D, 1). Der wesentlichste Unterschied zu anderen Zugbahnstatistiken besteht nunmehr darin, daß erst auf der Grundlage eines synoptisch annähernd homogenen Bahntyps „kinematische“ oder „statistische“ Sammelkarten der Bodenhochs, von deren regionaler Verteilung die klimatologische Auswirkung weiter abhängig ist, gezeichnet werden sollen. Sobald wir die klimatologische Auswirkung der Bahnen behandeln werden, erweitern wir den synoptischen Entwicklungstyp zum effektiven Bahntyp auf genetischer Grundlage, bzw. das vorwiegend meteorologisch erscheinende Problem zum klimatologischen, und zwar in spezifischer räumlicher Bindung, wofür die Geographie zuständig ist.

Die „statistischen“ Sammelkarten für Typus I zeigen die regionale Verteilung der Bodenhochs. Noch deutlicher läßt die nur als Arbeitskarte gezeichnete „kinematische Sammelkarte“ erkennen, daß die mittlere Achse der Bodenbahnen dieses Typs — wie bereits bei der Behandlung der synoptischen Entwicklungsgeschichte angedeutet — von der Biscaya über Frankreich, das mittlere und südliche Mitteleuropa nach Südosteuropa verläuft. Ein aufsteigender Ast mit zunehmender Intensität des Hochs weist von Südwesten zunächst in nordöstliche Richtung, bei etwa 10^0 östlicher Länge erfolgt eine Umsteuerung (bei Erreichen des höchsten Intensitätsgrades) in einen vorwiegend von NW nach SE gerichteten absteigenden Ast mit abnehmender Intensität. Die Umsteuerung der Bahn steht augenscheinlich im Zusammenhang mit dem Auf- und Abbauvorgang des mitteleuropäischen Höhenhochkeiles. Die täglichen Intensitätsänderungen der in dem Musterblatt (S. 17) vom März 1957/I (= Musterbeispiel Typ I, n) dargestellten Bahnentwicklung vom 27. 2.—5. 3. 1957 lassen deutlich diese auf- und absteigende Entwicklung erkennen, wenn diese Bahn auch gerade hinsichtlich ihrer extrem nördlichen Lage sehr stark von der mittleren Bahnachse abweicht. Sie bildet gewissermaßen die nördliche „Umhüllende“ der Zugbahnschar von Typ I. (Vgl. auch Musterbeispiel Typ I, s — als Beispiel einer normalen oder etwas nach Süden verschobenen Bahn dieses Typs). Es mag dahingestellt bleiben, ob die Höhengliederung Mitteleuropas (Gebirgsverlauf) im Zusammenhang mit der regionalen Verteilung der Bahnen steht. Ein orographischer Einfluß ist anzunehmen, wenn auch die Bedeutung der europäischen Gebirge hinsichtlich Höhe und Ausdehnung hinter den zentralasiatischen, die jene



monsunhafte Modifikation der planetarischen Zirkulation hervorrufen (FLOHN), zurücksteht. Einer Bevorzugung der Mittelgebirge und Süddeutschlands steht sowohl eine zahlenmäßige Abnahme als auch eine weit größere Streuung der Einzelbahnen nördlich der Mittelgebirgsschwelle gegenüber. Nur 20 bis 30 Prozent der Hochdruckgebiete dieses Typs wandern über Nordfrankreich oder die Niederlande nach Norddeutschland. Da der Höhenkeil über Mitteleuropa stationär wird, dringen die Bodenhochs nicht weiter nach Osteuropa vor, sondern schwenken über Pommern und Westpolen nach Süden ein (siehe Musterbeispiel I, n). Der beachtliche Gegensatz hinsichtlich der Hochdruckhäufigkeit zwischen Nord- und Süddeutschland wird auch von BAND (1955) an Hand einer Häufigkeitskurve erfaßt; bei der Behandlung der Bahnen von Typ II ist dieser Gegensatz noch auffallender und auch wetterwirksamer, so daß erst an dieser Stelle auf BAND eingegangen wird. Auf Grund der fast sprunghaften Abnahme der Bahnhäufigkeit an der nördlichen Mittelgebirgsgrenze wollen wir die „nördlichen“ (Typ I, n) und die „südlichen“ (Typ I, s) Zugbahnscharen — vor allem in Zusammenhang mit der monatlichen Verteilung (s. u.) — gesondert betrachten. Die Frage muß allerdings offen bleiben, inwieweit dieser Differenzierung des Bahntyps nach der geogra-



phischen Verteilung der Bodenbahnen auch effektive Unterschiede hinsichtlich der regionalen Auswirkung entsprechen. Für Mitteleuropa können diese nur z. T. erwartet werden, da sich der Einflußbereich (s. u.) der äußerst intensiven Hochs meist auf ganz Mitteleuropa erstreckt, wenn auch mit verschieden langer Dauer.

Nach der Durchsicht der Karteblätter konnte die Dauer des Hochdruckwetters bei diesem Typ ermittelt werden. In Nordbayern (Nürnberg als Station) dauert der Hochdruckeinfluß — bedingt durch den langsamen Auf- und Abbauvorgang des Höhenkeils oder Höhenhochs und die geringe Verlagerungsgeschwindigkeit des antizyklonalen Systems — mindestens drei Tage (meist länger) an. Somit sind die rasch wandernden Zwischenhochdruckgebiete auf gleicher Bahn (siehe Typ II), aber mit einer „Dauer“ von höchstens zwei Tagen, nicht nur synoptisch, sondern auch effektiv von Typ I verschieden. Da das südliche Mitteleuropa im Zentrum der Bahnen liegt, steht es auch am längsten unter Hochdruckeinfluß. In Norddeutschland ist das Hochdruckwetter von kürzerer Dauer (von den extrem nordwärts verschobenen Bahnen dieses Typs — I, n — abgesehen). Dem Verlauf der typischen Bahnen entsprechend greift der Hochdruck-

einfluß von Südwesten her auf Mitteleuropa über; er wird von Nord nach Süd fortschreitend abgebaut. Insofern steht das südliche Mitteleuropa meist länger unter Hocheinfluß. Während der süddeutsche Raum noch heiter ist, höchstens von einzelnen Wolkenfeldern gestreift wird, ziehen bereits die ersten Störungen der folgenden Westlage über das norddeutsche Küstengebiet hinweg, wobei die Eintrübung langsam von Nord nach Süd fortschreitet. Die erste Störung kann sich in Süddeutschland meist noch nicht durchsetzen.

Die zeitliche Häufigkeitsverteilung veranschaulicht Tabelle 2. Die monatliche und jährliche Häufigkeitsverteilung zeigt der linke Teil der Tabelle; rechts der nach Monaten aufgeteilten Gesamtsumme wird die

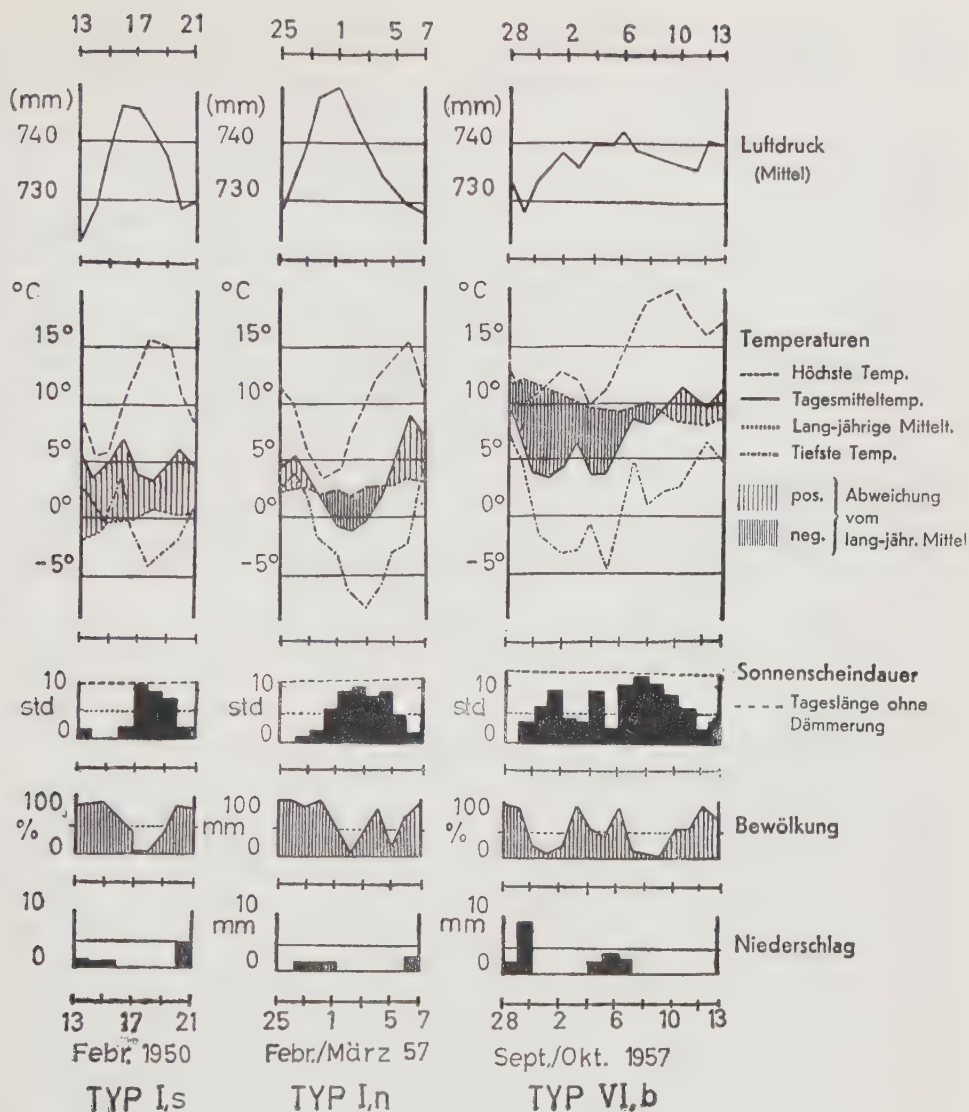
Tabelle 2

Typ I: zeitliche und regionale Häufigkeitsverteilung der Bahnen nach Jahren und Monaten

	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	47—57	I,s	I,n
J	1	—	1	1	—	—	—	—	1	1	2	7	6	1
F	—	—	1	1	—	—	1	1	—	—	—	4	4	—
M	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	1	3	1	2
A	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	2	2	—
M	1	—	—	—	—	—	1	—	1	1	—	4	3	1
J	—	1	1	1	1	—	—	—	—	—	1	5	3	2
J	1	—	—	1	1	1	—	—	—	1	—	5	3	2
A	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—	2	1	1
S	1	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	3	3	—
O	—	—	2	1	—	—	1	1	—	1	—	6	6	—
N	—	—	2	—	—	—	3	—	—	—	—	5	4	1
D	—	1	2	—	1	—	2	2	—	1	1	10	10	—
Jahr	4	2	11	8	3	1	9	4	3	6	5	56	46	10

monatliche Verteilung regional differenziert (entsprechend den Untertypen I,s und I,n). Die linke Seite der Tabelle ist für den Vergleich der einzelnen Monate und Jahre von Bedeutung; die monatlichen Summen zeigen den normalen Jahresgang des Bahntyps; die rechte Seite der Tabelle veranschaulicht die Verschiebung der Bahnen im Jahresablauf. Die Sammelkarten mit den 24stündigen Positionen der Hochdruckgebiete für jeweils zwei meteorologische Jahreszeiten lassen Lage, sowie jahreszeitliche Verschiebung und Häufigkeit der Bahnen erkennen. Im Winter (►) liegen nahezu sämtliche Bahnen südlich der Mittelgebirgsschwelle, im Frühjahr (▷) und noch stärker im Sommer (●—) verlagern sich die Bahnen auch nach Norddeutschland, im Herbst (○—) wird wieder die Umstellung auf den südlichen Untertyp vollzogen. Die Minima der Bahnen liegen eindeutig im Frühjahr und Hochsommer.

Die normalen Witterungserscheinungen dieses Bahntyps sollen für die kalte und warme Jahreszeit kurz geschildert werden. Im Sommer ist dieser Typ — meist im Zusammenhang mit advektiver Erwärmung — für eine längere Schönwetterperiode verantwortlich zu machen. Als extremes Beispiel sei die Hitzewelle im Juni/Juli 1957, bedingt durch den Aufbau eines dynamischen Hochs über den Ostalpen, erwähnt. Im Winter sind bei diesem Typ extreme Kältegrade kaum möglich. Häufig führt die



Zufuhr von subtropischer Warmluft zu einer allgemeinen Milderung; meist herrscht ruhiges Strahlungswetter bei normalen Kältewerten, (= Winter-typ B nach TEISSERENC DE BORT und O. FINCK oder C-KE-Typ mit Kaltluftbildung über Mitteleuropa nach BLÜTHGEN). Der Temperaturgang ist sehr stark von der Bildung einer Hochnebeldecke abhängig. Es kann hier auf die Schilderung des Hochdruckwetters nach FLOHN (1954, S. 63) u. a. verwiesen werden.

Den Gang der klimatologischen Elemente im Verlauf der anti-zyklonalen Entwicklung veranschaulichen die Klimadiagramme für die ausgewählten Beispiele I,s und I,n (S. 33). Der Luftdruckgang, die Bewölkungs-

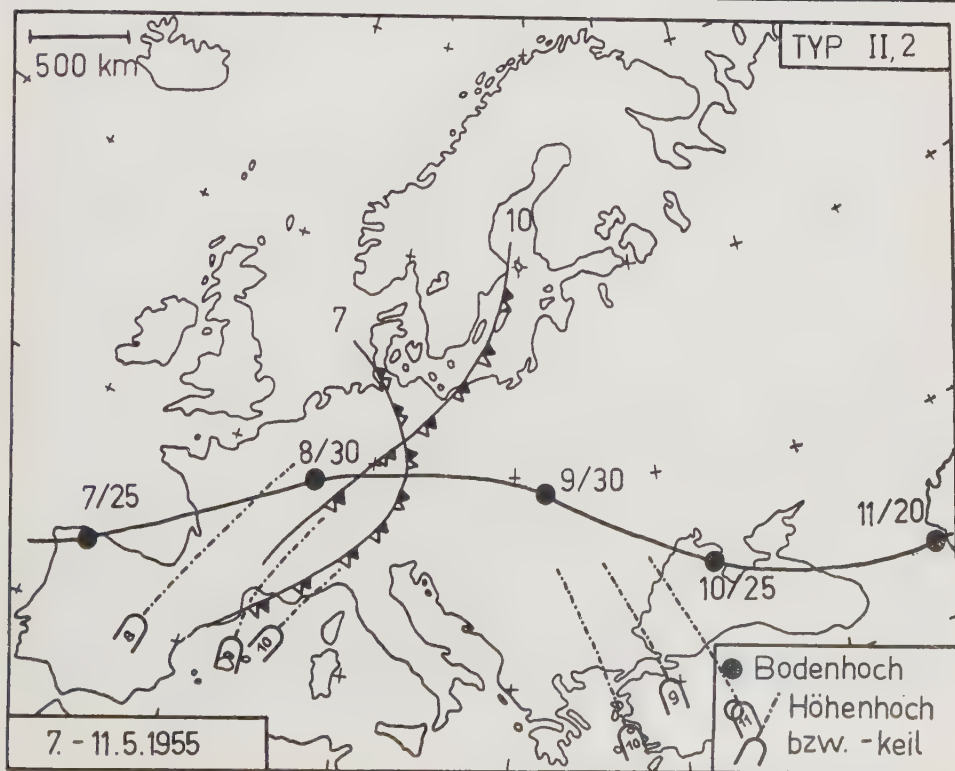
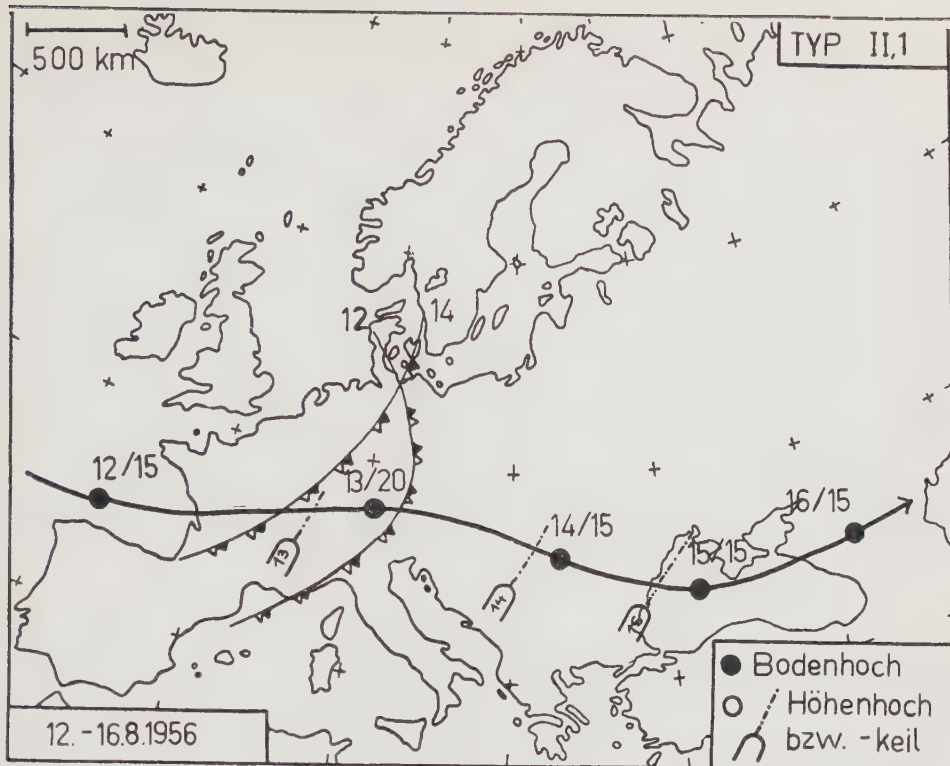
dauer und Sonnenscheindauer sowie die Niederschlagskurve stimmen bei beiden Bahnen gut überein. Die antizyklonale Entwicklung beginnt mit einem allgemeinen Luftdruckanstieg. Bei geschlossener Wolkendecke kommt es in Nordbayern noch zu geringfügigen Niederschlägen. Erst 2 bis 4 Tage nach dem ersten Einsetzen des Luftdruckanstieges lockert die Bewölkung auf, bei gleichzeitiger Zunahme der Sonnenscheindauer. Die größte Verzögerung zeigen die Temperaturkurven. Hierin ergeben sich auch die größten Abweichungen bei I_n und I_s , insbesondere hinsichtlich der Tagesmitteltemperaturen. Die höchsten Tagesmaxima werden erst nach dem Abbau des hohen Druckes erreicht, bei abnehmender Sonnenscheindauer. Letzteres gilt nur für dieses Musterbeispiel; denn im Februar und März ist die Erwärmung noch nicht so sehr der Einstrahlung als vielmehr dynamischen Absinkbewegungen und der Advektion zuzuschreiben. Die Feinheiten der Temperaturgänge bedürfen jeweils eigener Erklärungen. Sie sind einmal in der lokalen Witterungsvorgeschichte zu suchen, sodann in der Lage der individuellen Bahn. Süddeutschland liegt bei der Entwicklung I_n zunächst auf der kalten Seite des Hochs, so daß die Temperaturen beträchtlich absinken. Man müßte hierzu vergleichend eine nordwestdeutsche Station heranziehen; diese Fragen betreffen die regionale Auswirkung der Bahnen, die nicht mehr Gegenstand dieser Untersuchung sind.

Typ I wurde aus methodischen Gründen etwas ausführlicher beschrieben, so daß die folgenden Typen kürzer behandelt werden können.

Typ II:

Azorische Zwischenhochvorstöße nach Mittel- und Osteuropa

Zwischenhochdruckgebiete liegen entweder zwischen zwei Tiefdrucksystemen ein und derselben Serie oder zwischen zwei Zyklonenserien. Während der gesamten Lebensdauer (oft bis zu 6 Tagen) des Zwischenhochs unterbleibt die Ausbildung eines eigenen Steuerungszentrums. Es handelt sich vielfach (nicht immer!) nur um flache Hochdruckgebiete oder Hochdruckkeile, die in der Höhe (Topographie der 500-mb-Fläche) entweder überhaupt nicht oder ganz schwach in Erscheinung treten. Die Isohypsen der 500-mb-Fläche über dem entsprechenden Bodenhoch können sogar zyklonal oder geradlinig verlaufen; oder es wandert eine antizyklonale Ausbuchtung der Frontalzone — gegenüber dem Bodenhoch nach Westen verschoben — wellenartig mit der Verlagerung des Bodenhochs nach Osten. Auf Grund der geringen Höhenentwicklung und der fehlenden steuernden Funktion blieben diese Zwischenhochs in dem von HESS-BREZOWSKY (1952) aufgestellten Katalog der Grobwetterlagen, in dem die steuernde Funktion der Druckgebilde im Vordergrund steht, unberücksichtigt. Die Zwischenhochdruckgebiete wurden, ebenso wie bei BAUR (1948), zu den Westlagen bzw. den antizyklonalen Westlagen gerechnet. Nur LAUSCHER (1954) behandelt diese in seiner dynamischen Klimaskizze von Österreich gesondert; denn „auf die Form h (= Zwischenhoch) können wir nicht verzichten, da sie klimatologisch bedeutungsvoll ist: Ihr verdanken z. B. die Nordalpenländer oft ein oder zwei prachtvolle Tage inmitten veränderlicher Witterung, welche anderswo den Zwischenhochseinfluß vielleicht nur stundenweise bringt“ (S. 146). Dieses klimatologische Argument für die Bedeutung der Zwischenhochs ist auch für uns

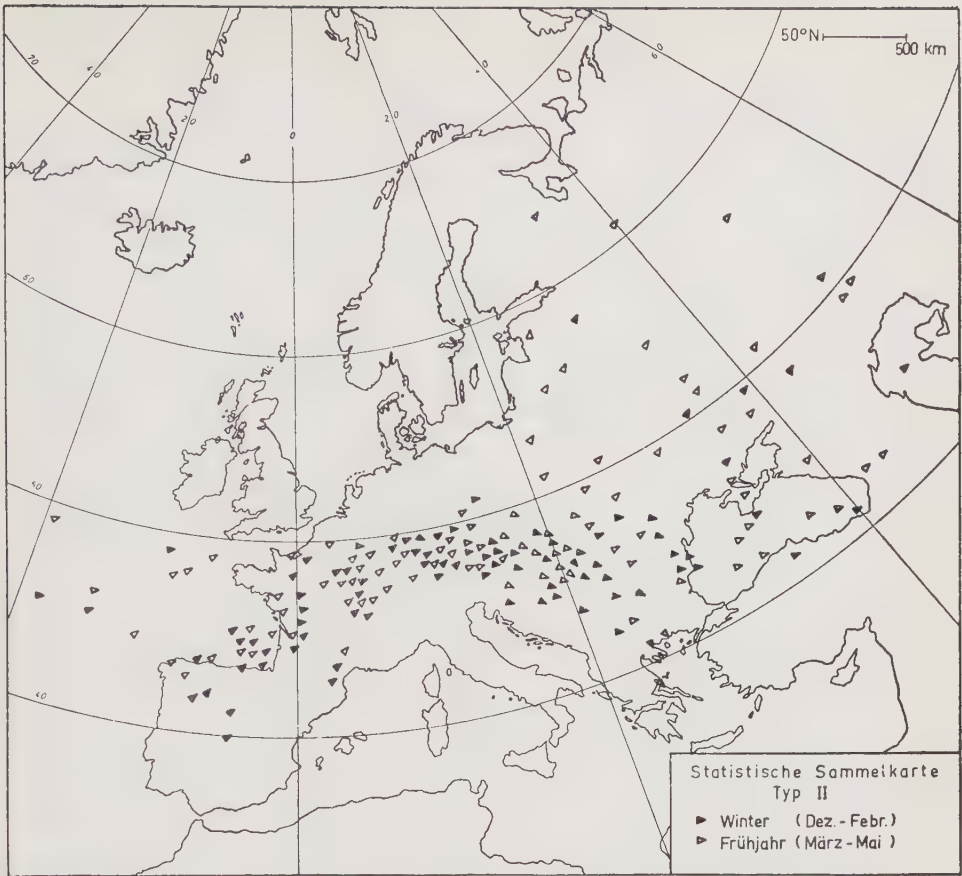


maßgebend, wenn wir uns nicht auf die meteorologische Streitfrage über die Selbständigkeit des Zwischenhochs einlassen wollen. Es sei nur auf die wirtschaftliche Bedeutung des Zwischenhochs für das Einbringen der Ernte in nassen Sommern hingewiesen! Der Begriff „Zwischenhoch“ mag dazu verleiten, auch die klimatologische Wirksamkeit dieser Druckgebilde zu unterschätzen. Es ist aber zu beachten, daß der Schwerpunkt des Zwischenhochkeils oder der Zwischenhochzelle meist nicht zwischen den Zyklonenkernen, sondern zwischen den in den Kernen verankerten Frontensystemen liegt. Von der Ausbildung des Zwischenhochs hängt es daher ab, wie sich die Zyklonen, die auf nördlicher Bahn — etwa von den Färöern nach Mittelskandinavien — ziehen, in Mitteleuropa auswirken. Der Witterungsablauf in Mitteleuropa kann eher durch das Auftreten eines mehr oder weniger kräftigen Zwischenhochs als durch die nördliche Zyklonenbahn charakterisiert werden. In Nordeuropa wird man die Bahn des Tiefs, im südlichen Europa (vgl. LAUSCHER, Österreich) die Bahn des Zwischenhochs untersuchen. Mitteleuropa liegt im wechselnden Einflußbereich der zyklonalen und antizyklonalen Bahnen, so daß wir bald der einen, bald der anderen Rechnung tragen müssen. Als Beispiel für die Wetterwirksamkeit der Zwischenhochbahnen sei die Entwicklung im August 1953 angeführt:

„Der größte Teil des Monats stand im Zeichen einer Westwetterlage, wobei im Norden der zyklonale und im Süden der antizyklonale Einfluß überwog. Während in Nordwestdeutschland die Niederschlagsnormalwerte erreicht oder überschritten wurden, war es im übrigen Bundesgebiet, vor allem in Süddeutschland, viel zu trocken“ (monatlicher Witterungsbericht des Deutschen Wetterdienstes, 1. Jg. 1953, Nr. 8). In rhythmischen Abständen lösten sich vom Azorenhoch einzelne Zellen höheren Druckes ab, die über Süddeutschland nach Osten wanderten.

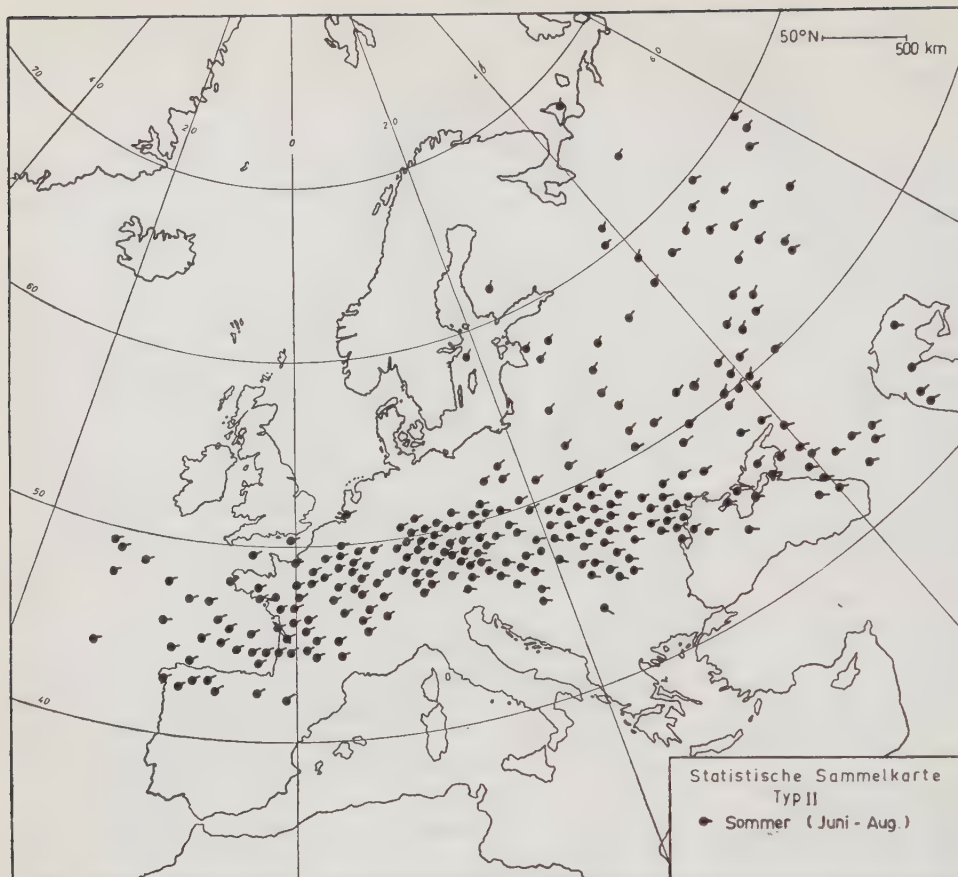
Die Zwischenhochdruckgebiete sind also besonders in Süddeutschland für kurzfristige Monsunpausen innerhalb eines in Norddeutschland voll und ganz zur Wirkung kommenden europäischen „Sommermonsuns“ verantwortlich zu machen (vgl. auch die Sommerwitterung 1954). Auf Grund ihrer Wetterwirksamkeit werden die Zwischenhochs hier mit behandelt, wenn ihnen auch keine steuernde Funktion zukommt. Sie müssen andererseits streng von den Hochdruckgebieten steuernder Funktion geschieden werden; eine mittlere Bahnachse, die lediglich die gleiche Lage der Hochdruckbahnen — seien es Zwischenhochs oder steuernde Hochs — vereinigt, liefert ein ganz falsches Bild der Verteilung und ist klimatologisch indiskutabel.

Die Entwicklungsgeschichte der Zwischenhochs nach der Bodenkarte ist einfach zu schildern. Das Azorenhoch schiebt einen Ausläufer in die Biscaya und nach Frankreich vor. Der vordere Teil des Keiles wird durch ein nachfolgendes Druckfallgebiet — im Zuge der weiter im Norden voll entwickelten Westdrift — abgeschnürt. Die im Bodendruckfeld, nicht in der Höhe, selbständige Zelle driftet nach Osten, während das Azorenhoch als steuerndes Zentrum (ungeordneter Austausch nach F. BAUR) erhalten bleibt; im Gegensatz zu Typ I, wo das steuernde Azorenhoch nach der Abwanderung neu aufgebaut werden mußte. Diese Abschnürung kann sich rhythmisch im Abstand von einigen Tagen (4–5) wiederholen (vgl. August 1953). Häufig unterbleibt die Bildung einer selbständigen Bodenhochzelle; dann kann ein Hochkeil über Süddeutschland hinweg bis in den pannonischen Raum reichen; erst im Karpatengebiet kann die Ablö-



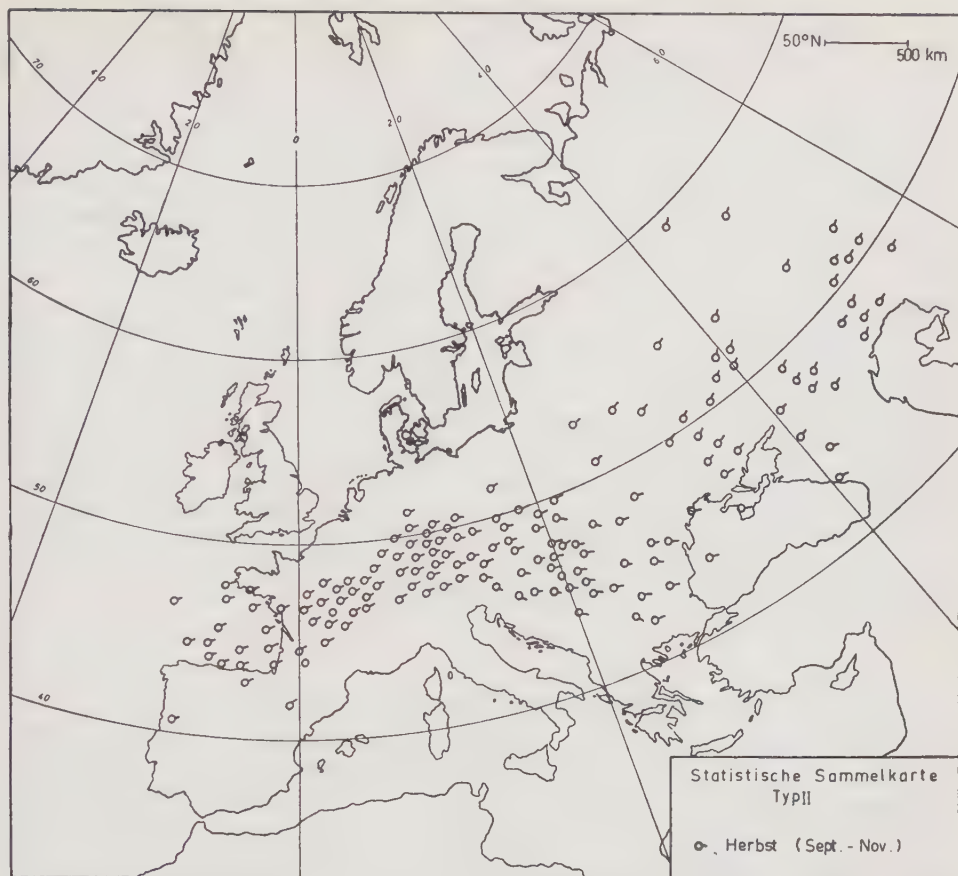
sung vollzogen werden. Daher sind auch selbständige, abgeschlossene Hochzellen in Osteuropa häufiger. Die über die Wanderung der Hochdruckgebiete seitens der russischen Meteorologen vorgenommenen bedeutsamen Untersuchungen, die bereits gewürdigt wurden, sind so verständlich.

Die Initialentwicklung kann im Westen unseres Untersuchungsraumes auch anders verlaufen. Sehr häufig liegt zwischen zwei gut ausgebildeten Zyklonen über dem Atlantik ein Hochkeil, der an das warme, steuernde Azorenhoch als „kalte Blase“ angebaut wurde, nur getrennt durch eine Front. Mit der Ostwanderung der beiden Tiefdruckgebiete wird die kalte Zwischenhochzelle am Nordostabhang des Azorenhochs entlanggesteuert, die trennende Front oder Luftmassengrenze wird aufgelöst; im Isobarenbild erscheint ein nach Westeuropa gerichteter Keil des Azorenhochs. Wenn, wie in diesem Fall, die Luftmassenumwandlung (Bildung einer Mischluft!) am Boden bereits über dem Atlantischen Raum oder in der Biscaya erfolgt, werden die Bahnen mit zu den echten Azoren-Zwischenhochbahnen gezählt; auch dann, wenn die Bahn vielleicht über den Atlantik hinweg auf einen Ausläufer eines kanadisch-grönländischen Hochs zurückgeführt werden kann (vgl. CHROMOW, S. 362, Regeneration des Azorenhochs). Diese Bahnen leiten zu den subpolaren isländischen Bahnen



über (siehe Typ VII: meist kalte Hochzellen, keine Luftmassenumwandlung oder Verschmelzung mit einem warmen Azorenhoch). Bei der Abgrenzung von Typ II und Typ VII sind also nicht die Vorgänge auf dem Atlantik, d. h. die Herkunft der Hochzelle außerhalb unseres Untersuchungsraumes entscheidend, sondern der jeweilige Entwicklungszustand am Westrand unseres Untersuchungsraumes.

Der weitere Ablauf der azorischen Zwischenhochvorstöße in unserem Untersuchungsraum ist nach diesen beiden Initialentwicklungen gleich. Die geographische Verteilung der Bodenbahnen von Typ II (siehe Sammelkarten) weist eine ausgesprochene Bündelung auf. Die mittlere Achse verläuft, von der Biscaya und Frankreich ausgehend, durch Süddeutschland und Ungarn nach Südrußland, wenn auch nicht alle Zwischenhochs auf Grund einer kürzeren Lebensdauer (kalte Jahreszeit!) diese Bahn ganz durchlaufen. Die Lage dieser Achse in Mitteleuropa entspricht ungefähr dem Lauf der Donau, bei einer geringen Ausbuchtung nach Norden über dem mittleren Süddeutschland. Verteilung und Einflußbereich der Bahnen — meist setzt sich der Zwischenhocheinfluß nur in Süddeutschland durch — stimmt mit dem statistischen Ergebnis von G. BAND (1955) überein. BAND konnte zeigen, daß die Abnahme der Hochdruckhäufigkeit über



dem westlichen Deutschland von Süd nach Nord nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft in etwa $50\frac{1}{2}$ Grad Breite (Mainlinie, Mittelgebirgsgrenze) erfolgt. Östlich der Böhmisches Masse scheren (nur während der warmen Jahreszeit von April bis September) einige Bahnen nach Nordosten aus, aber nur etwa 20%. Ein Vordringen einer Hochzelle nach Nordosten entgegen dem allgemeinen Druckgefälle in Richtung der subpolaren Tiefdruckfurche muß eben energetisch in der Höhe gestützt sein. Da dies bei den Bahnen von Typ II nicht der Fall ist, wandert die Mehrzahl der Zwischenhochs zonal nach Osten oder Ostsüdost an der Grenze der südlichen Warmluft entlang (vgl. Divergenzeffekt nach RYD SCHERHAG!).

Das Maximum der Bahnen fällt in die warme Jahreszeit (übereinstimmend mit Typ III); im Winter können die Hochzellen ebenso wie bei Typ I häufig nur bis zum Karpatenrand verfolgt werden, da der kalte Höhentrog über Osteuropa ein Vordringen nach Rußland verhindert.

Auf Grund der raschen Verlagerung der Hochzellen — parallel mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Zyklonen — hält der Hocheinfluß, der meist nur auf den Süden beschränkt bleibt, nur 1—2 Tage an, wie eine Auszählung für Nürnberg ergab. Die Hochzelle wandert in den meisten

Fällen innerhalb zweier Tage von der Biscaya bis zu den Karpaten; weiter östlich wird die Geschwindigkeit etwas vermindert. Wenn die Front, die das Zwischenhoch abschließt, nur schwach ausgeprägt ist und eine weitere Zwischenhochzelle unmittelbar nachfolgt, kann sich auch eine mehrtägige Schönwetterperiode oder zumindest eine niederschlagsfreie Periode einstellen. Der andere Grenzfall liegt dann vor, wenn zwei Fronten den Zwischenhocheinfluß auf einen Tag einengen. Zwischenhochdruckgebiete, deren Lebensdauer unter 24 Stunden liegt, so daß sie nach den 24stündigen Wetterkarten nicht durch mindestens zwei aufeinanderfolgende Positionen rekonstruiert werden können, wurden in der Statistik nicht berücksichtigt.

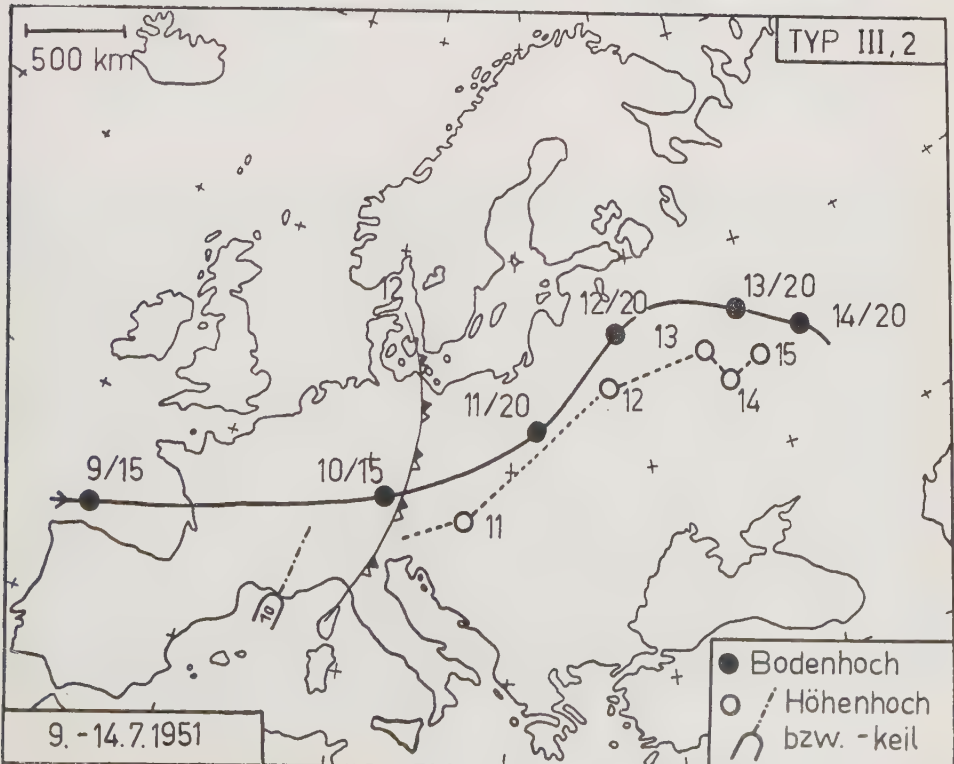
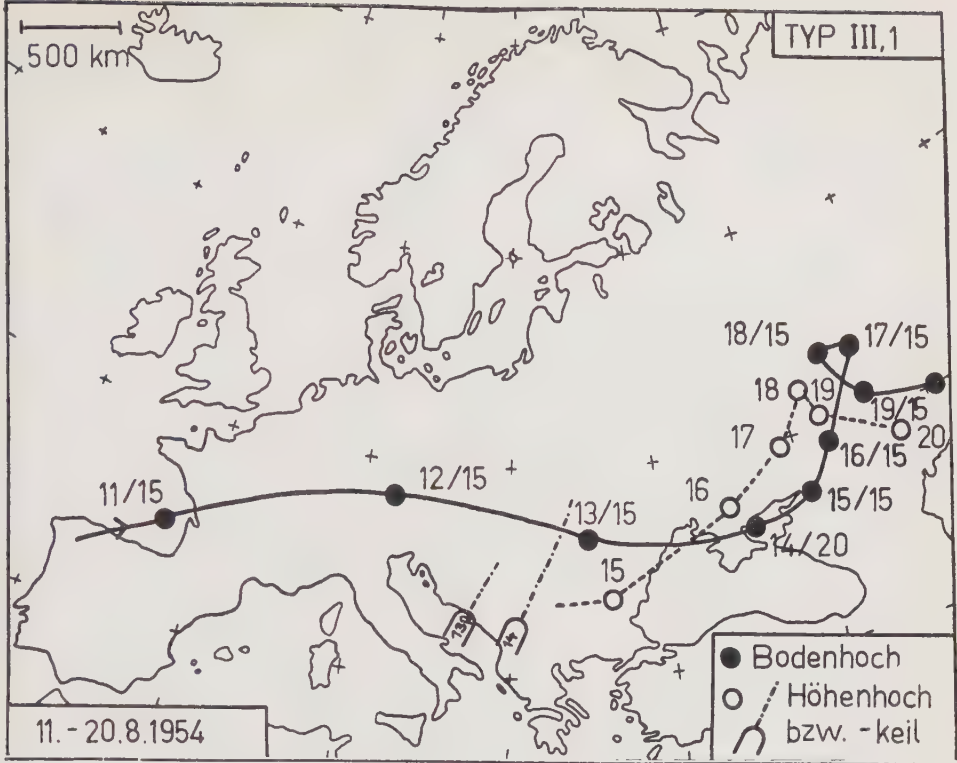
Die beiden ausgewählten Musterbeispiele (S. 35) stellen zwei Grenzfälle hinsichtlich des synoptischen Entwicklungsgrades (Höhenentwicklung und Intensität) und der Dauer dar. Das Zwischenhoch vom August 1956 gehört einer zyklonalen Westlage an; in Nordbayern (Nürnberg) dauert die Aufheiterung nur einen Tag. Das zweite Beispiel (Mai 1955), ein wesentlich kräftigeres Zwischenhoch, leitet bereits zu den dynamischen Subtropenvorstößen über. Im Katalog der Großwetterlagen wurde daher diese Entwicklung bereits als eintägige HM-Lage erfaßt. Auf Grund der geringen Höhenentwicklung und der raschen Verlagerung der Zelle nach Osten wurde diese Bahn noch zu Typ II gerechnet.

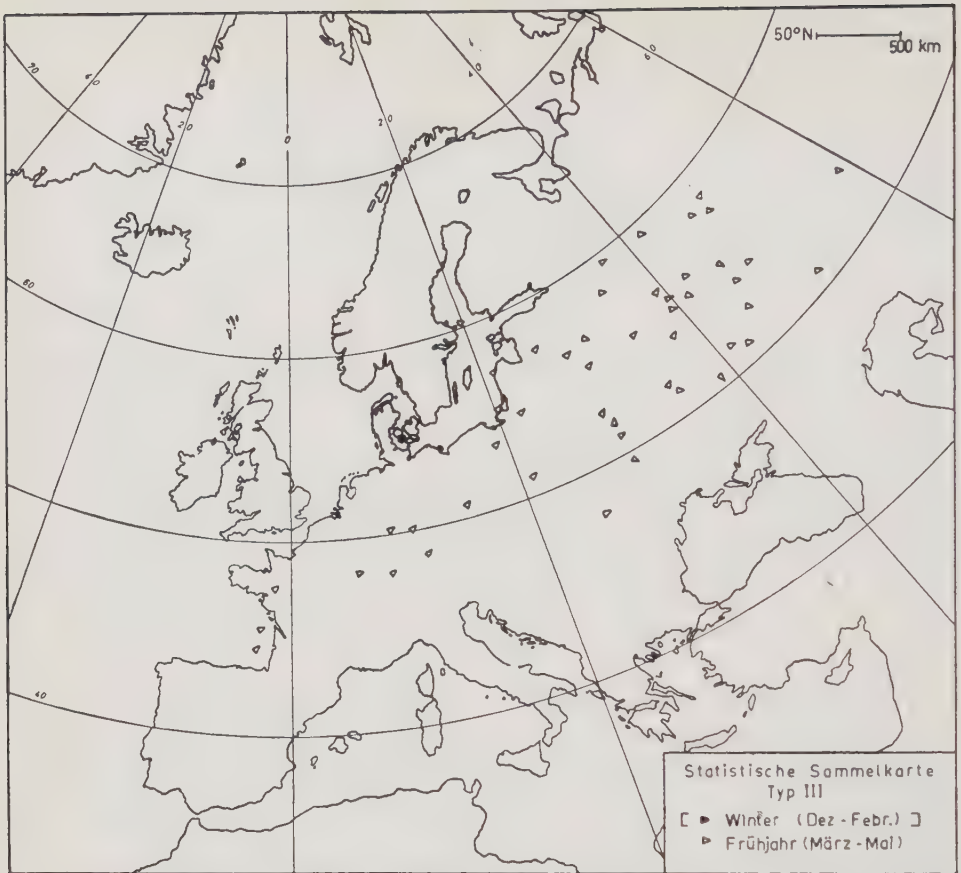
Typ III:

Azorenvorstöße nach Mittel- und Osteuropa

mit nachfolgender Stabilisierung in Osteuropa. Dieser Typ läßt sich unmittelbar an den vorhergehenden anschließen; denn auch die Hochdruckgebiete, die in Typ III zusammengefaßt werden, sind zum Teil über West- oder selbst noch über Mitteleuropa nur als rasch wandernde Zwischenhochs wirksam. In Osteuropa jedoch wird die Bewegung dieser Hochzellen infolge Stabilisierung in der Höhe abgebremst. Eine antizyklonale Welle, im 500-mb-Niveau erkennbar, die entlang der Frontalzone rasch über Westeuropa hinweg nach Osten wandert, wird im östlichen Mitteleuropa bei gleichzeitiger Stabilisierung stationär. Häufig ist damit die Abschnürung eines eigenen Steuerungszentrums verbunden. In einigen Fällen liegt die Welle, d. h. eine kräftige Ausbuchtung der Frontalzone nach Norden, nahezu stationär über Südrußland; im Westen decken sich die Bodenbahnen rein lagemäßig z. T. mit der Hauptachse der Zwischenhochbahnen von Typ II, aber ihre weitere synoptische Entwicklung verläuft völlig anders. Die Mehrzahl der Bahnen schert nach Norden aus; bei Typ II waren es nur einige Ausnahmen. Biegen die Bahnen erst im östlichen europäischen Rußland nach Norden ab, d. h. erfolgt die Stabilisierung erst im Gebiet des Schwarzen Meeres, dann übt das steuernde Hochdruckgebiet (Typ III, 1) auf Mitteleuropa nur einen „blocking-effect“ aus; für Osteuropa bringt es antizyklonales Wetter. Bahnen dieser Art könnten bei einer Behandlung des mitteleuropäischen Klimas besser zu den Zwischenhochbahnen (Typ II) gezählt werden (z. B. August 1953).

Diese wenigen Bahnen leiten von Typ II zu Typ III (im engeren Sinn) über. In der Mehrzahl der Fälle setzt der Stabilisierungsvorgang bereits in Westrußland, Ostdeutschland oder noch weiter westlich ein, so daß der

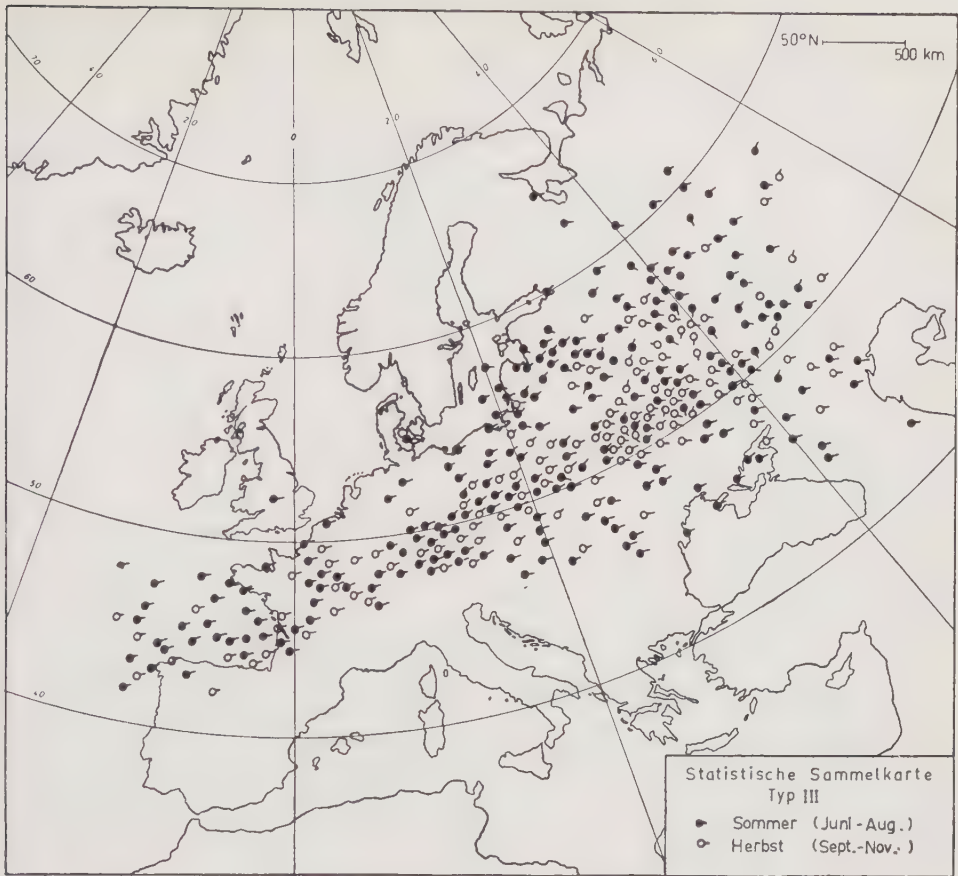




Zwischenhocheinfluß unmittelbar in echtes Hochdruckwetter übergeht. Es entsteht über West- bzw. Mittelrußland oder dem Baltikum ein selbständiges Hochdruckgebiet, das seinen Einfluß auf ganz Mitteleuropa ausdehnen kann, oder es entsteht ein kräftiger Höhenhochkeil, dessen Basis weit nach Westen reicht, der Druckverteilung einer antizyklonalen Südwestlage ähnlich.

Die Bodenbahnen bilden einen Bahnfächer, dessen Mediane von der Biscaya über Frankreich, Mitteldeutschland, Böhmen, Polen nach Mittelrußland verläuft. Über Mitteleuropa ist eine deutliche Bündelung der Bahnen festzustellen; in Osteuropa macht sich unter gleichzeitiger Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine stärkere Auffächerung bemerkbar: der Hochdruckschwerpunkt pendelt oft nur um eine mittlere Gleichgewichtslage. Von Norden her kommende Drucksteiggebiete können den Fortbestand des hohen Druckes in Osteuropa sichern. Wenn der Höhepunkt der antizyklonalen Entwicklung überschritten ist, bewegt sich das ganze System unter raschem Abbau nach Süden oder Südosten.

Das Maximum der Bahnen fällt eindeutig in die warme Jahreszeit: im Gesamtablauf des europäischen Sommermonsuns bedingen die Bahnen die-

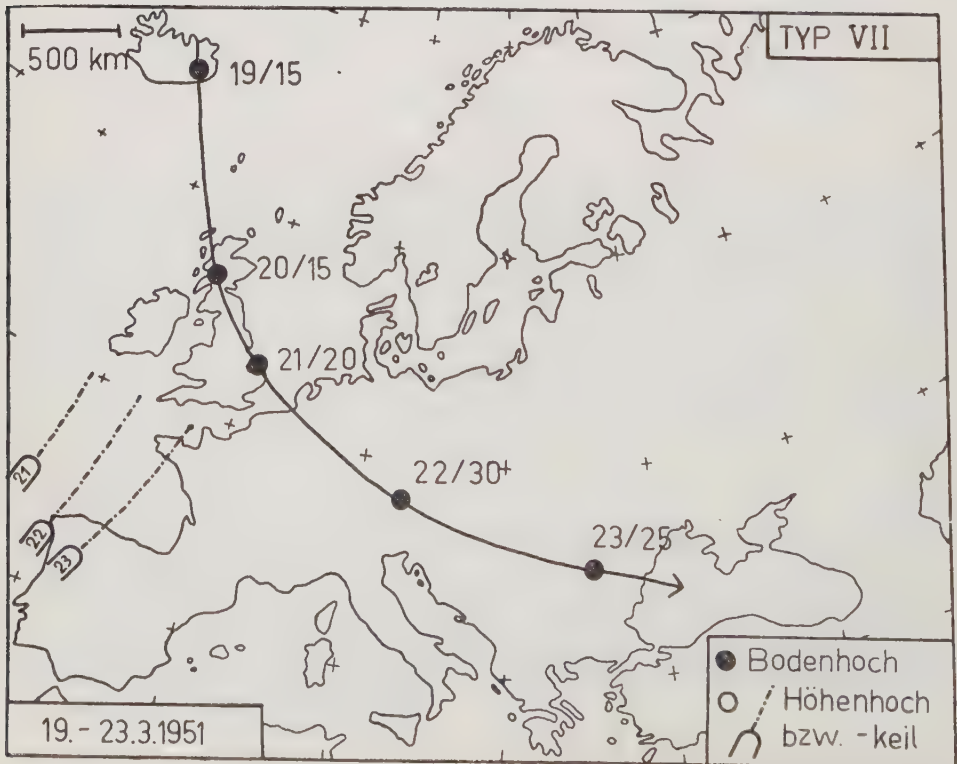
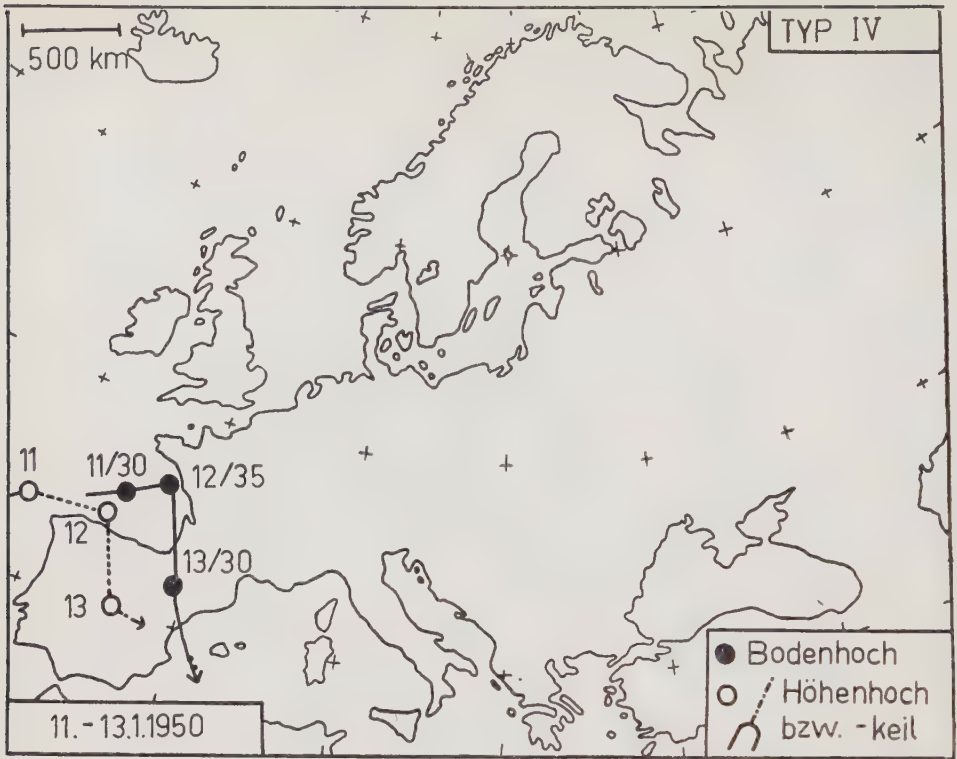


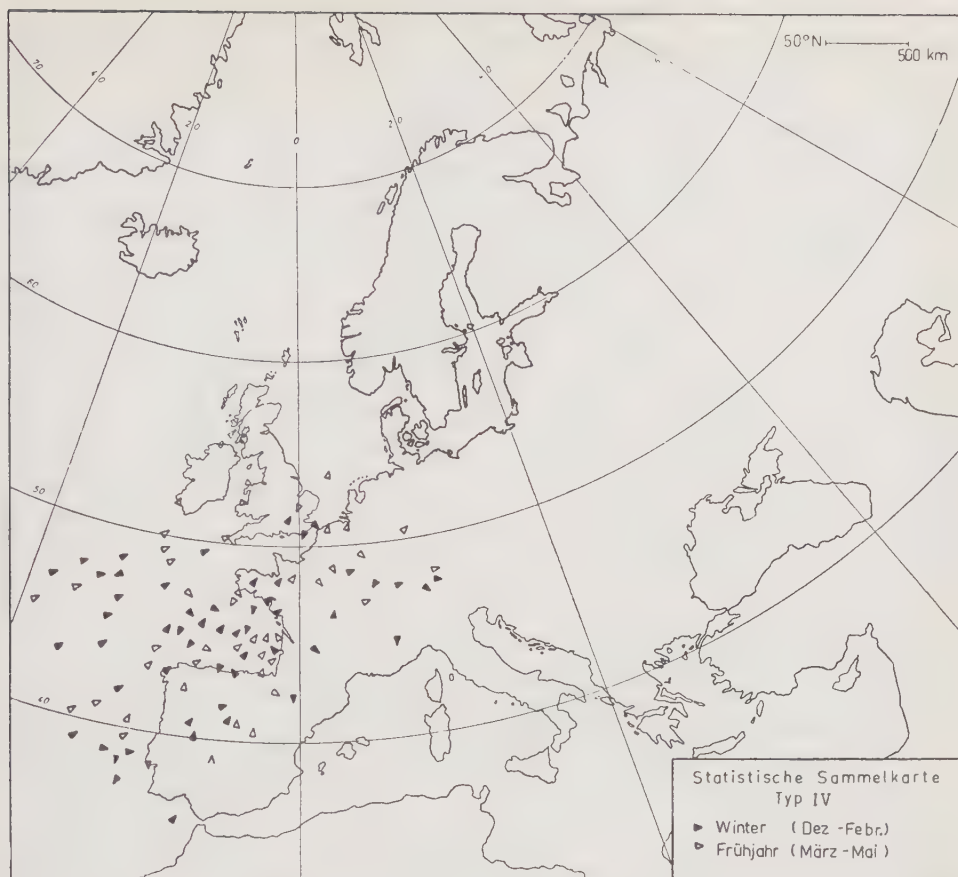
ses Typs markante Monsunpausen. Im Frühjahr bringt dieser Typ die ersten Wärmavorstöße, im Sommer oft beachtliche Hitzewellen, wenn advektive Erwärmung und Hochdruckeinfluß, d.h. Einstrahlung und Absinken, zusammenwirken. Vor allem spätsommerliche und frühherbstliche Schönwetterperioden sind diesem Typ zuzuschreiben. Wenn der Kern des Hochs auf das östliche Mitteleuropa übergetreten ist, wird in der warmen Jahreszeit mit südlichen und südöstlichen Winden warme Festlandluft nach Mitteleuropa hereingepumpt. Ein Vergleich der Bahnen mit bestimmten Witterungsregelfällen dürfte ein dankbares Untersuchungsthema sein.

Typ IV:

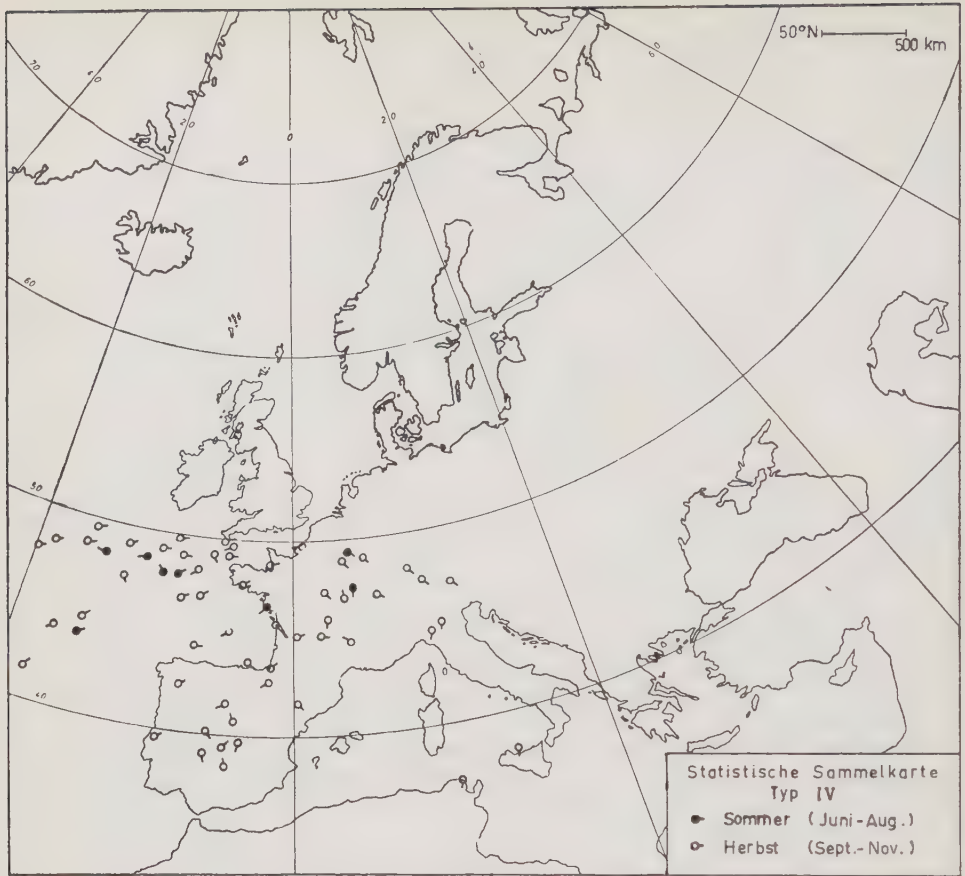
Azorenvorstöße mit Schwerpunkt über Südwesteuropa

Dieser Typ betrifft nur den Südwesten unseres Untersuchungsraumes. Es handelt sich um rein dynamische Verlagerungen des Azorenhochs in die Biscaya und nach dem südwestlichen Europa. Es ist sehr fraglich, ob bei den geringen Ortsveränderungen der kräftigen Hochdruckgebiete (Vor-





stoß und Zurückweichen des Azorenhochs) der Bahnbegriff überhaupt noch am Platze ist. Man hätte diesen Typ aus regionalen Gründen auch an den Anfang der Klassifikation stellen können. Da aber bei Typ IV der antizyklonale Einfluß meist nur den äußersten Südwesten erfaßt, während Mitteleuropa als das Kerngebiet unseres Untersuchungsraumes zyklonal beherrscht wird, wurden als Typ I die für Mitteleuropa bedeutsamen dynamischen Vorstöße des Azorenhoch behandelt, damit an Hand dieses Typs beispielhaft die Bedeutung einer Zugbahn für das klimatologische Geschehen überhaupt dargelegt werden konnte. Die südwesteuropäischen Hochdruckgebiete entsenden häufig einen Ausläufer ins westliche Mittelmeer, so daß Typ IV besser in Zusammenhang mit den mediterranen Bahnen untersucht werden muß. Auch wegen der Nähe des quasi stationären Azorenhochs ist eine Spezialuntersuchung dieses Bahntyps mit anderen Methoden erforderlich; häufig wird nämlich der Südwesten unseres Untersuchungsraumes zwar antizyklonal beeinflusst, aber der Kern des kräftigen Hochzentrums liegt bereits außerhalb unseres Untersuchungsgebietes, so daß diese Fälle nicht mehr erfaßt wurden. In dieser Arbeit wird daher auf eine ausführliche Bearbeitung der Hochdruckentwicklungen von Typ IV verzichtet. Wie die Sammelkarte zeigt, liegt das Minimum



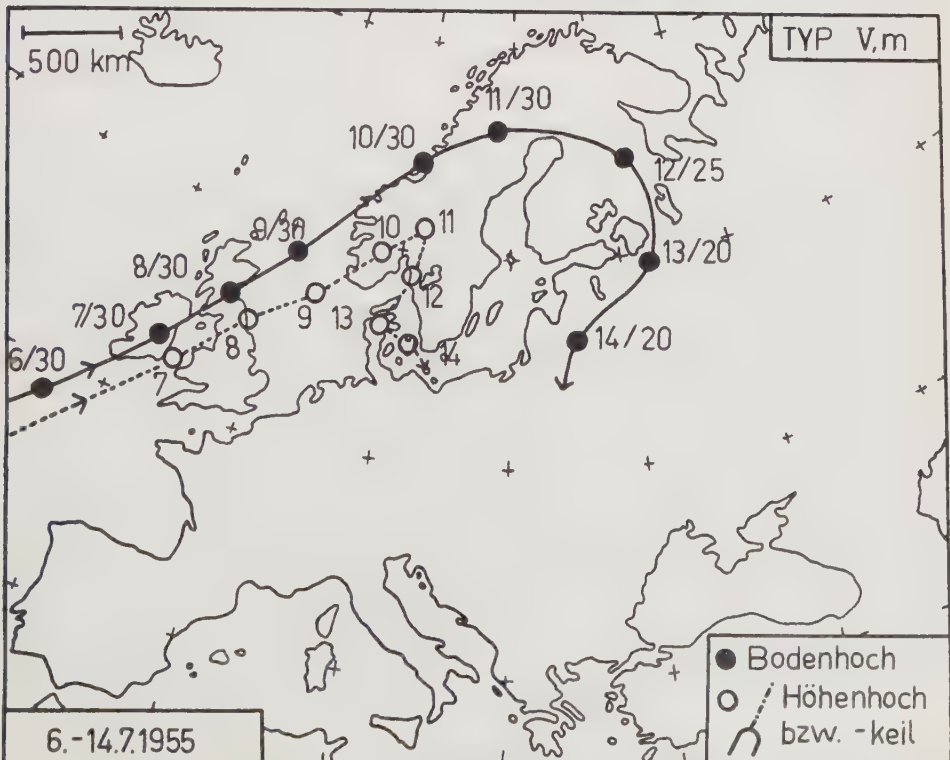
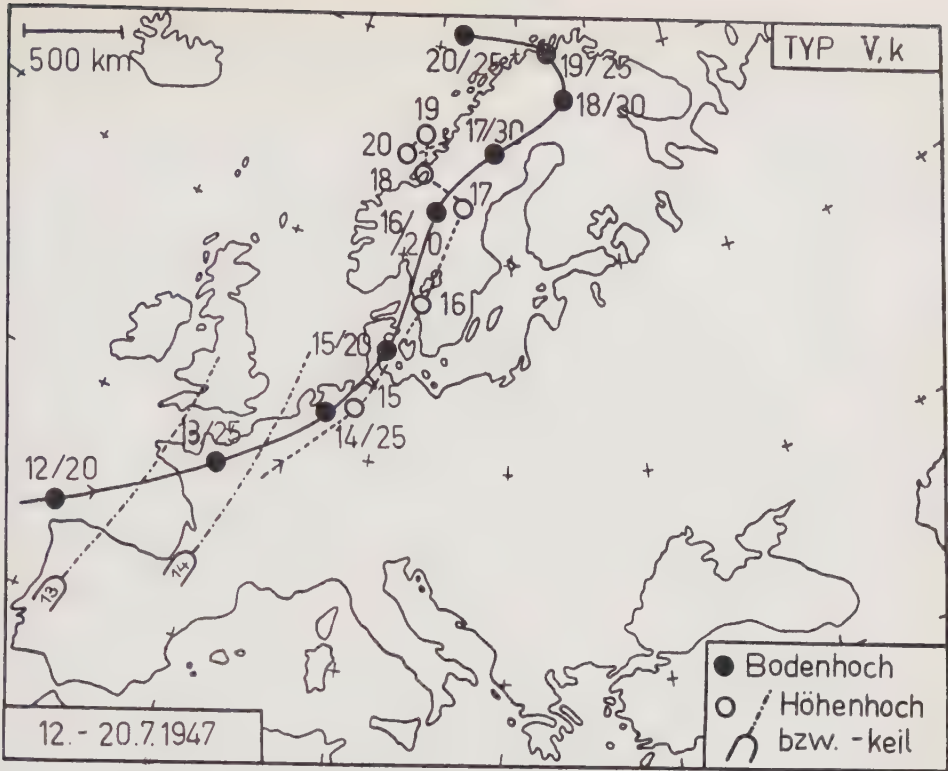
der „Bahnen“ in der warmen Jahreszeit, wenn die Azorenvorstöße oder -durchbrüche auf Grund ihrer größeren Energie bis nach Mittel- (Typ I), Ost- (Typ II und III) oder Nordeuropa (Typ V) reichen. Letztere werden als folgender Typ behandelt.

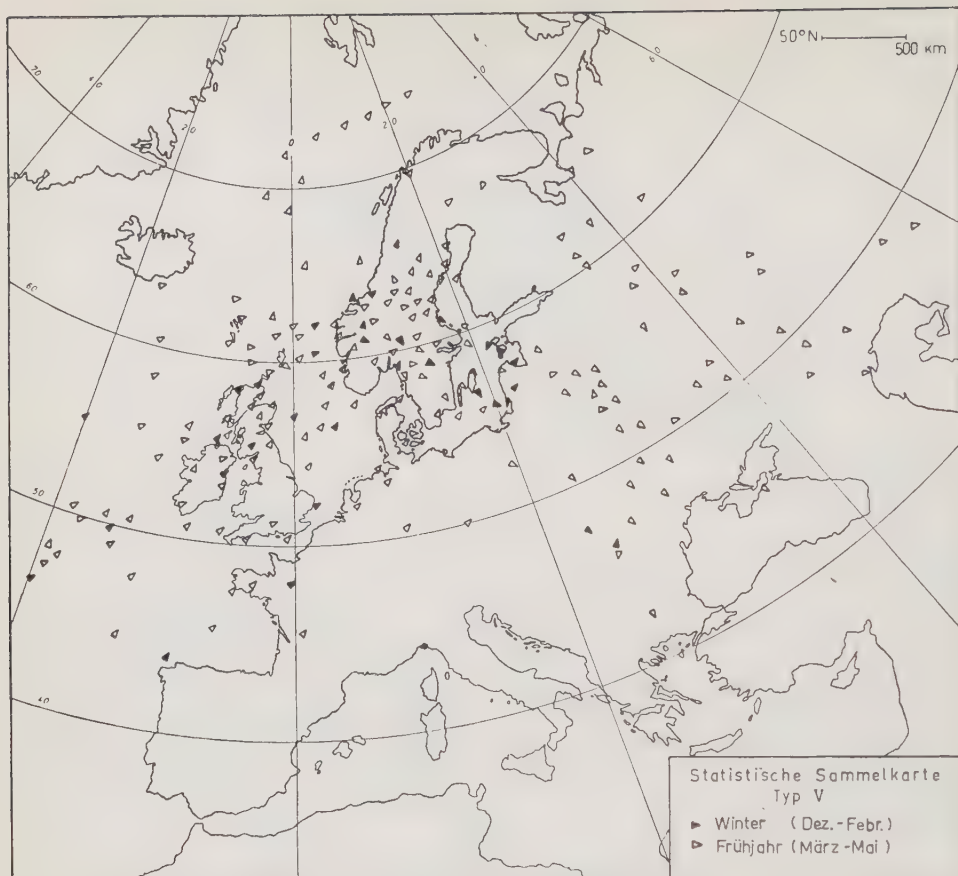
Typ V:

West- und nordeuropäische Bahnen

(Vorwiegend meridional gerichtete Azorenvorstöße, z.T. bereits mit subpolarem Anbau)

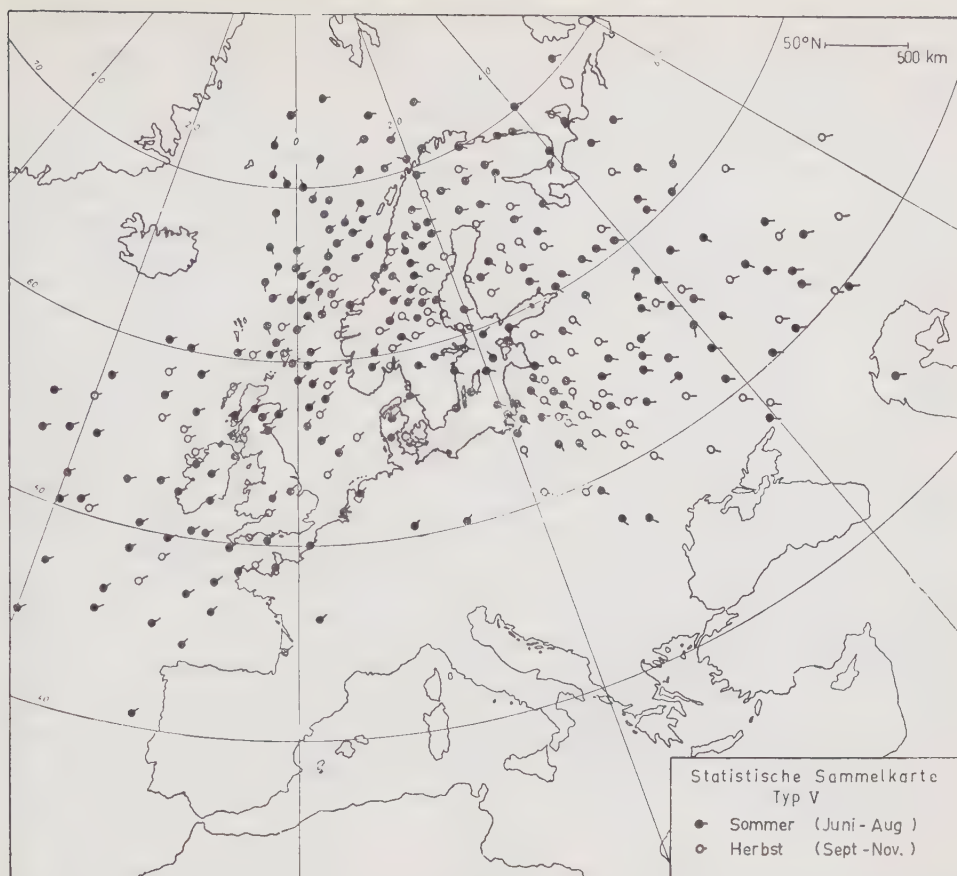
Dieser Typ umfaßt alle dynamischen progressiven Hochdruckgebiete azorischen Ursprungs über Nord- und Westeuropa, wobei große Teile Mitteleuropas, vor allem die südöstlichen Bereiche, auf der kalten Ost-, Südost- oder Südseite der Bahnen liegen; ausgenommen sind nur die steuernden britischen Hochs, die entweder an Ort und Stelle oder infolge Abwanderung nach Südosten oder Osten abgebaut werden. Da sich hierbei andere Wetterlagenfolgen ergeben, werden diese als eigener Typ (s. u. Typ VI) behandelt.





Die Entwicklung in der Höhe beginnt mit einer antizyklonalen Ausbuchtung des Westwindbandes am Westrand Europas, so daß sich in Mitteleuropa vorübergehend eine nordwestliche Strömung einstellt. Die fortschreitende Ausweitung dieses „Mäanders“ leitet eine Meridionalzirkulation ein, die die normale Westdrift blockiert. Im weiteren Verlauf wird meist über England, dem Nordseeraum oder Südsandinavien eine selbständige Höhenhochzelle abgeschnürt, die für Mitteleuropa nach kurzem Hocheinfluß eine nördliche bis östliche Luftzufuhr in Gang bringt.

Diese noch zu schematisch geschilderte synoptische Entwicklung kann regional weiter differenziert werden, und zwar nach der Lage der Höhenkeil-Achse, deren Verschiebung für die regionale Auswirkung wesentlich ist. In einigen Fällen, die schon zu Typ III überleiten können, wird der Höhenkeil über Frankreich und Mitteleuropa aufgebaut (kontinentale Variante: Typ V, k). Im weiteren Verlauf entsteht über Südsandinavien oder über Norddeutschland ein steuerndes Hochdrucksystem, das nach Osten oder Nordosten weiter wandert. In der Mehrzahl der Fälle jedoch liegt die Hochdruckachse über der Biscaya und England (maritime Variante: Typ V,m = V i. e. S.). Ein im Raum der Britischen Inseln entstandenes



Höhenhoch verlagert sich entweder ins Nordmeer oder nach Mittelskandinavien, wo es ohne merkliche Abschwächung nach Finnland und Nordrußland umgesteuert wird und hier noch tagelang wirksam sein kann. Der Schwerpunkt des Höhenhochs kann auch über der Nordsee liegen bleiben; entscheidend ist nur ein nach Finnland gerichteter Höhenkeil (Nordost- bis Ostlage!). Die Zyklonentätigkeit bleibt auf den Atlantik beschränkt. Wenn in Mitteleuropa im Sommer bei diesem Typ Niederschläge auftreten, so sind sie nicht auf atlantische Zyklonen, sondern entweder auf flache Hitzetiefs oder sehr häufig auf Kaltlufttropfen zurückzuführen, die bei den kräftigen subtropischen Wärmeverstößen leicht von einer Kaltluftzunge abgeschnürt werden und außerhalb der allgemeinen Drift ein zähes Leben führen können. Beispiele dieser Art wurden bereits in Abschnitt B dargelegt: die Hochbahnen im Sommer 1955 sind typische Vertreter von Typ V i. e. S. Die Lage der Bahn in dem Musterbeispiel V,m entspricht etwa der mittleren Achse dieses Bahntyps. Boden- und Höhenbahnen weisen lagemäßig nur geringe Abweichungen voneinander auf. Die regionale Bedeutung dieser Bahnen für den Sommer 1955, den „Passatsommer“ (SEILKOPF) Norddeutschlands bzw. den verregneten Sommer 1955 in Süddeutschland, wurde bereits ausgeführt. Die in Abschnitt C

behandelte Bahnentwicklung vom 14. 7. 47 ist bereits zu der kontinentalen Variante (V,k) zu rechnen. Die Unterschiede der Sommermonate 1955 und 1947 können u. a. durch Verschiebung der Achse bei annähernd gleichem Zirkulationsmechanismus erklärt werden (vgl. Abschnitt B). Im Winter ist dieser Typ, sofern er sich einmal durchgesetzt hat, ungemein folgenschwer: er entspricht dem Wintertyp C nach TEISSERENC DE BORT oder ist die Ursache für die Nordostkalteinbrüche (NO-KE) bzw. skandinavischen Nordluftvorstöße (Nsk-KE) nach BLÜTHGEN. Häufig schlägt bei diesen Entwicklungen eine intensive Westdrift bei zu nördlicher Lage in eine Nordost-Drift mit kräftiger Abkühlung um, wie dies RODEWALD (1937) für das Zustandekommen des strengen Winters 1928/29 beschrieben hat. Auch die Kältewelle im Januar 1960 zeigte eine ähnliche Dynamik. Die Bedeutung der Bahnen dieses Typs für die Verknüpfung der Wetterlagen (Wetterlagenfolgen) wurde bereits in Abschnitt C,1 dargelegt.

Die bisher besprochenen Bahnen dieses Typs sind reine, von Süd nach Nord gerichtete Meridionalvorstöße des Azorenhochs entgegen dem allgemeinen Druckgefälle. Zu Typ V wurden auch noch jene steuernden Hochdruckgebiete gerechnet, die vom Mittelatlantik über Schottland und die Faröer vorwiegend zonal nach Mittelskandinavien und Nordrußland wandern (V,z). Es sind die nördlichsten Azorenbahnen, die besonders im Jahre 1949 recht häufig aufgetreten sind. Die Umsteuerung der Bahnen über Skandinavien und Nordrußland nach Südosten ist durch den Anbau einer subpolaren Druckwelle bedingt, deren Fortpflanzungsrichtung auch die weitere Verlagerung des dynamischen Hochzentrums bestimmt.

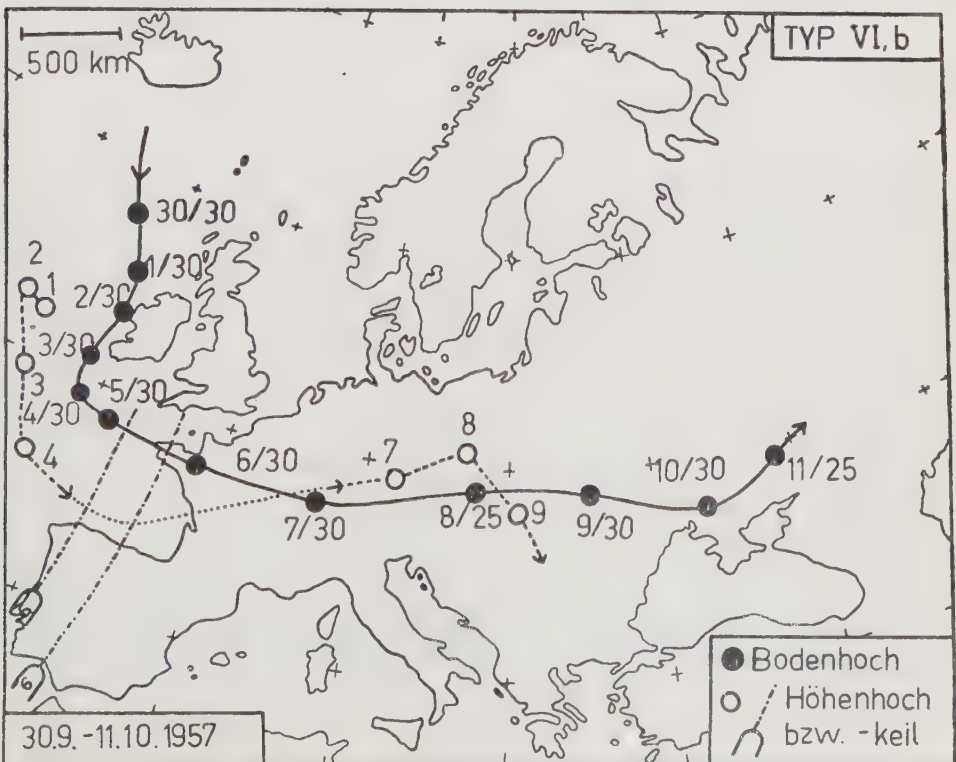
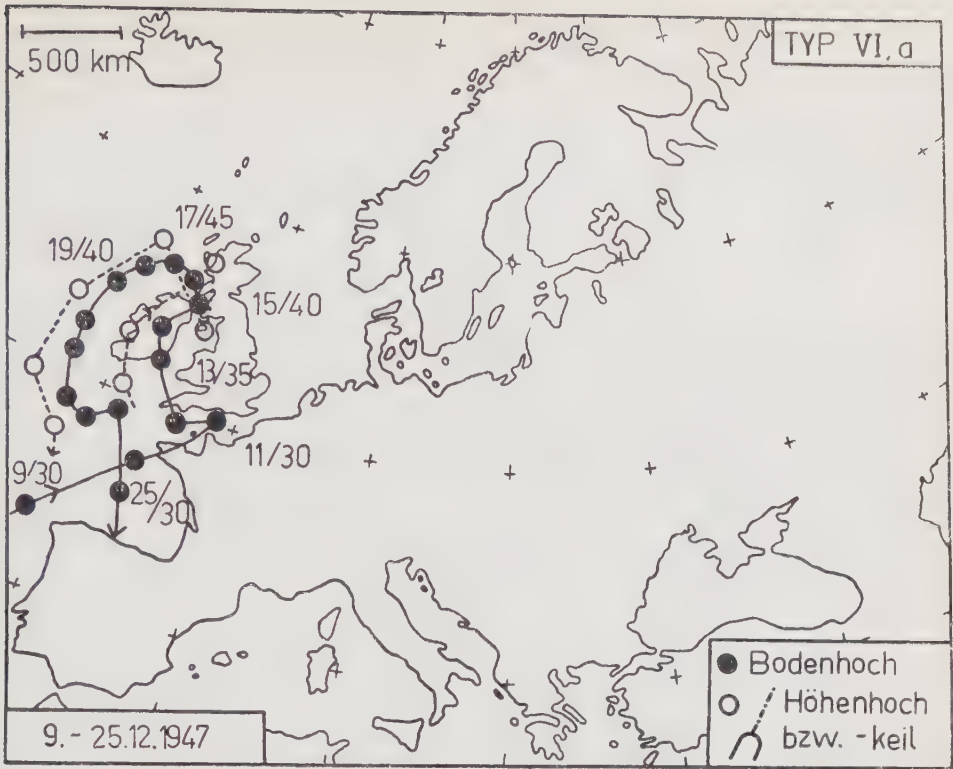
Das Maximum der Bahnen liegt — wie nicht anders zu erwarten — im Sommer, wenn das Azorenhoch auch in den mittleren Luftdruckkarten seine nördlichste Lage einnimmt.

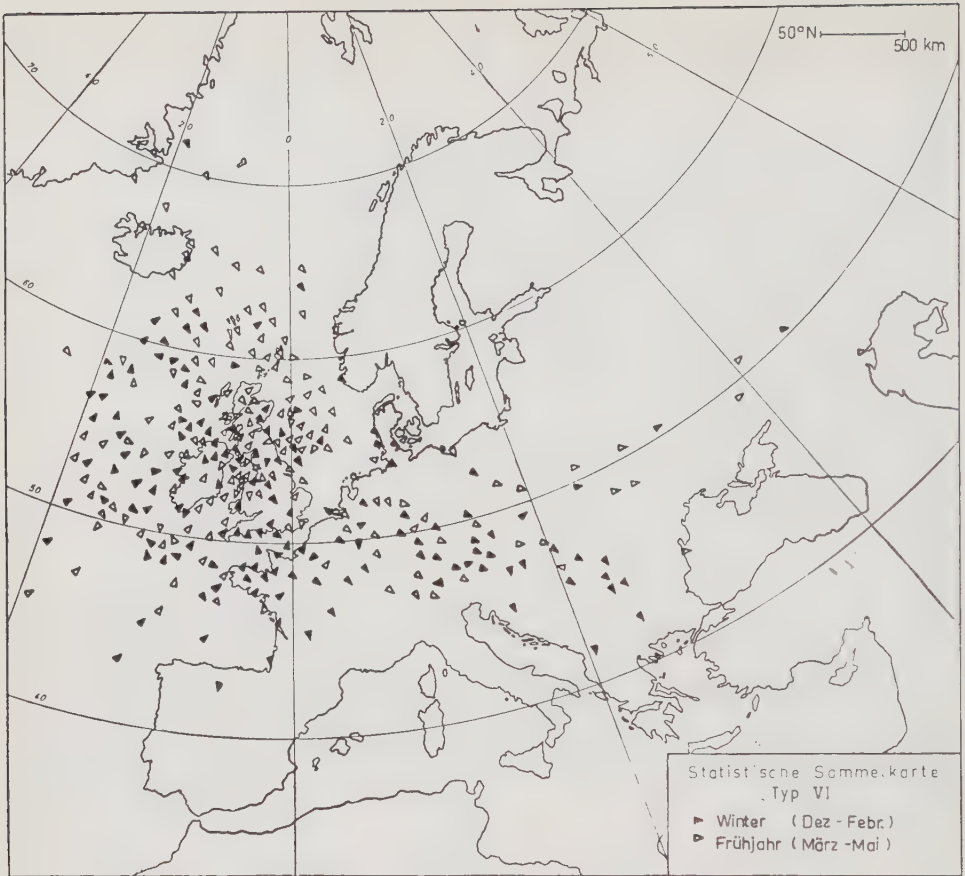
Typ VI:

Azorisch-subpolare Bahnen mit Schwerpunkt über den Britischen Inseln
(Aufbau und Verlagerung durch Druckwellen verschiedener Herkunft)

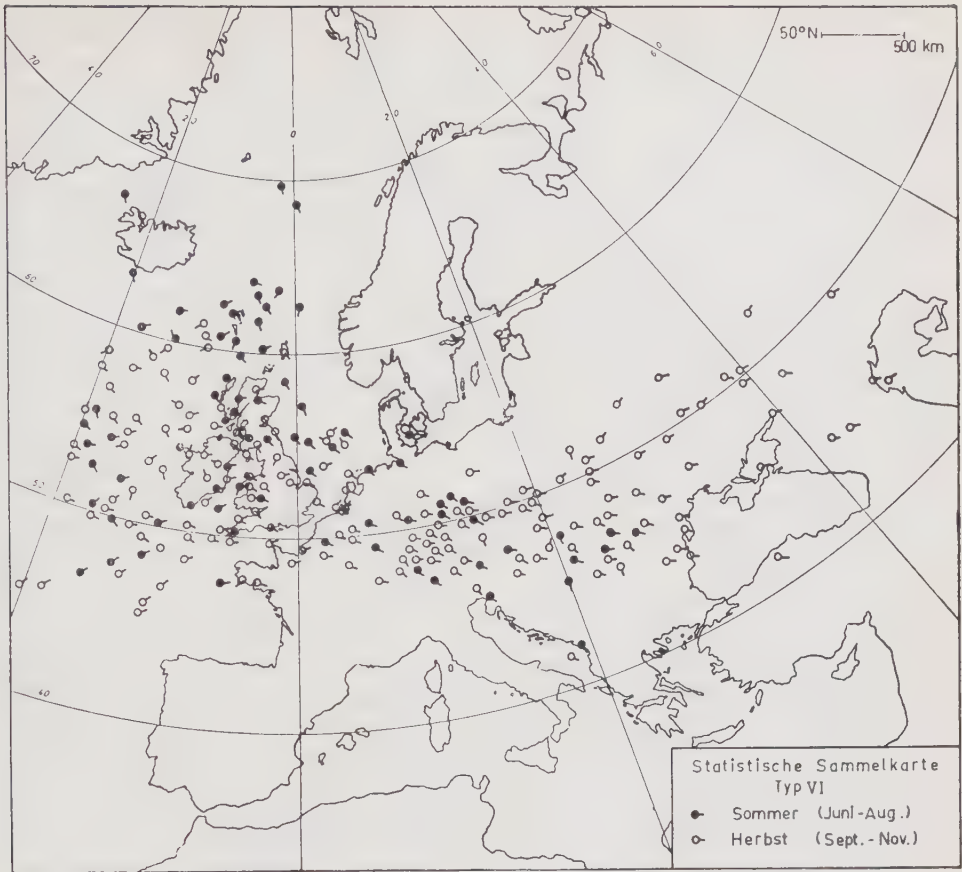
Während bei Typ V der Schwerpunkt des steuernden Hochdruckgebietes über die Britischen Inseln hinweg ins Nordmeer oder nach Skandinavien verlagert wurde (nachfolgende Nordost- bis Ostlage!), ist dieser Typ durch den Aufbau eines steuernden britischen Hochdruckgebietes charakterisiert, sei es als Endstadium oder als kurz dauerndes Zwischenstadium einer antizyklonalen Phase, die sich aber ganz anders weiter entwickelt als bei Typ V.

Hinsichtlich der Herkunft der Bahnen handelt es sich um einen Mischtyp. Das britische Hoch wird in den meisten Fällen durch rein azorische, teilweise auch durch rein subpolare Hochvorstöße aufgebaut. Oft ist eine eindeutige Unterscheidung, ob es sich um einen azorischen oder subpolaren Aufbau handelt, sehr schwer zu treffen. Häufig werden in ein bereits bestehendes britisches Hoch laufend azorische oder subpolare Druckwellen einbezogen, die dessen Fortbestand sichern. Teilweise erfolgt die Vereinigung der subtropischen und polaren Hochausläufer bereits über dem Atlantik. Zahlreiche Hochzellen lassen sich von Nordamerika bis West-





europa, wo die Stabilisierung eintritt, verfolgen. Nach RUNGE (1931) entstehen 18% der europäischen Hochdruckgebiete durch Vereinigung von subtropischer und polarer Antizyklone. Die Herkunft der Bahnen, die die Entstehung selbständiger britischer Hochdruckgebiete einleiten, ist aber mehr von prognostischer als klimatologischer Bedeutung. Für eine Bearbeitung des mitteleuropäischen Klimas sind diese Aufbaubahnen von weit geringerem Interesse als eine Untersuchung der verschiedenen Abbauförmungen oder Abbaubahnen. Denn erstens liegen die Aufbaubahnen meist außerhalb unseres Untersuchungsraumes; zweitens entstehen selbständige britische Hochdruckgebiete mit großer Ortsfestigkeit und demzufolge eigener Luftmassenbildung unabhängig von der Herkunft, bei gleichartiger Steuerung für Mitteleuropa; drittens rückt bei einer Untersuchung der verschiedenen Abbaubahnen auch die Frage der „Großwetterlagen-Folgen“ (vgl. die Definition einer Zugbahn in Abschnitt C,1) in den Vordergrund, d. h. bezogen auf unseren Typ VI: welche Wetterlage folgt auf eine Nordwestlage bzw. Nordlage, bedingt durch das steuernde britische Hoch? Zum Teil wurde diese Frage bereits bei Typ V beantwortet.



Bei Typ VI lassen sich zwei verschiedene Abbauformen unterscheiden:

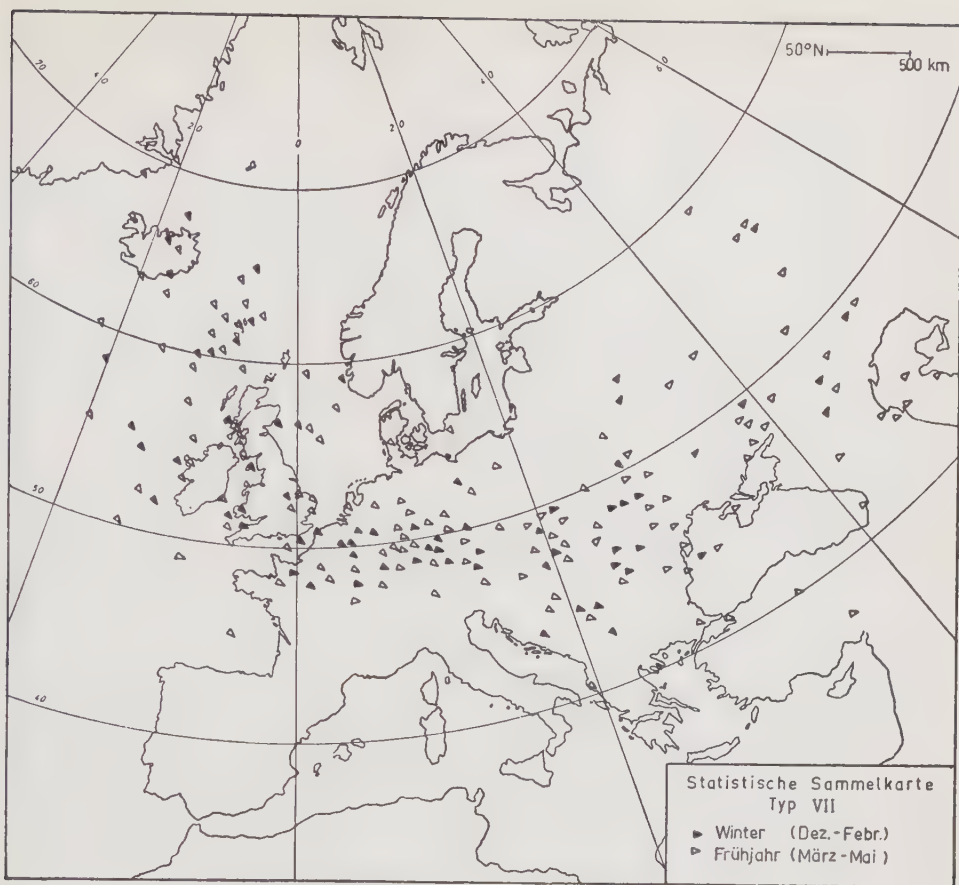
- a) Das stationäre britische Hochdrucksystem, sei es azorischer oder subpolarer Entstehung, wird ziemlich rasch an „Ort und Stelle“ abgebaut (siehe Musterbeispiel VI,a); nicht selten wandert der Kern des britischen Hochs nach wiederholtem Anbau von Westen her wieder nach Westen zurück. Der antizyklonale Einfluß bleibt auf Westeuropa beschränkt, wenn die Druckwellen in das Zentralhoch einbezogen werden: über Mitteleuropa liegt dann ein Höhentrog, der die Witterung zyklonal gestaltet. Häufig werden am Nordost- oder Ostabhang des Hochs entlang subpolare Zwischenhochausläufer nach Mitteleuropa gesteuert: diese bringen für Mitteleuropa vorübergehend antizyklonalen Einfluß. Gelegentlich wird dieser Ausläufer über Mitteleuropa abgeschnürt und wandert als selbständige Zwischenhochzelle nach Osten. Diese Zwischenhochbahnen, die innerhalb der NW-Lage in Mitteleuropa kurze Zwischenaufheiterungen bringen, wurden mit zu Typ VII (s. u.) gezählt.
- b) Der Abbau des britischen Hochs erfolgt infolge Abwanderung des Hochs, wobei die steuernde Funktion beibehalten wird. Verlagert sich das gesamte antizyklonale System (in der Höhe oft nur ein Zurücksin-

ken des Höhenkeiles) in südlicher oder südöstlicher Richtung nach Frankreich oder dem Alpenraum, dann geht die Nordwestlage zunächst in eine Hochdrucklage von kurzer Dauer über; nach der Glättung des Höhenkeiles setzt sich die Westströmung durch. In einigen Fällen, die nicht gerade häufig, aber oft länger als eine Dekade den Witterungsablauf in Mitteleuropa bestimmen, wandert das steuernde westeuropäische Hoch über Mitteleuropa langsam nach Osteuropa. Hier könnten wir wieder an Typ III anknüpfen! Mit der Zonalverlagerung des Hochs verschieben sich die meridionalen Zirkulationsstreifen (Höhenkeile und Höhenträge) von West nach Ost. Bei diesem sog. geordneten Austausch (meridionaler Zirkulationstyp mit einem „low index“) ergibt sich eine ganz charakteristische Aufeinanderfolge von Wetterlagen. Eine Entwicklung dieser Art zeigt das zweite Musterbeispiel dieses Typs vom 29. 9. 57 ff. (VI,b). Auf einen Einbruch kühler Meeresluft mit ausgiebigen Niederschlägen (ostatlantisches Hoch vom 29. 9.—5.10.; NW-Lage mit schwachen Ausläufern nach Deutschland) beginnt mit der Verlagerung des Hochdruckschwerpunktes nach Mitteleuropa eine antizyklonale Periode. Die Polarluft kommt zur Ruhe und wird infolge Absinkens, das den nächtlichen Abkühlungseffekt verhindert, langsam erwärmt. Es wird eine herbstliche Schönwetterperiode eingeleitet, die in diesem speziellen Fall den „verspäteten Altweibersommer“ darstellt. Nach dem Gang der Tagesmitteltemperaturen im Vergleich mit den Normalwerten folgt auf eine zu kühle eine zu warme Witterungsperiode. Das Maximum der Erwärmung ist advektiv bedingt; denn nach der Abwanderung des Hochdruckschwerpunktes nach Osteuropa setzt sich eine südwestliche Höhenströmung durch. Das Temperaturmaximum wird nach dem Maximum der Sonnenscheindauer erreicht (vgl. den Witterungsablauf an Hand des Klimadiagramms, S. 33). Ähnliche Bahnentwicklungen treten besonders im Herbst auf, während die sommerlichen Hochs dieses Typs VI,b bereits über Mitteleuropa oder dem Alpenraum zerfallen (siehe Sammelkarte). Es ist anzunehmen, daß gerade im Herbst — nach der Beseitigung der sommerlichen monsunalen Tiefdruckfurche über Mitteleuropa und bei zunehmender Temperatúrausgeglichenheit zwischen Ozean und Kontinent — die zonale Wanderung der Hochdruckgebiete begünstigt wird. Hier ergibt sich wieder ein neues Untersuchungsgebiet: der Zusammenhang der Bahnen mit den Witterungsregelfällen! Bisweilen sind nämlich für einen Regelfall zwei Bahnen verschiedener Typen anzugeben: diese Beziehungen der Bahnen untereinander aufzuzeigen, wäre eine weitere Aufgabe.

Typ VII:

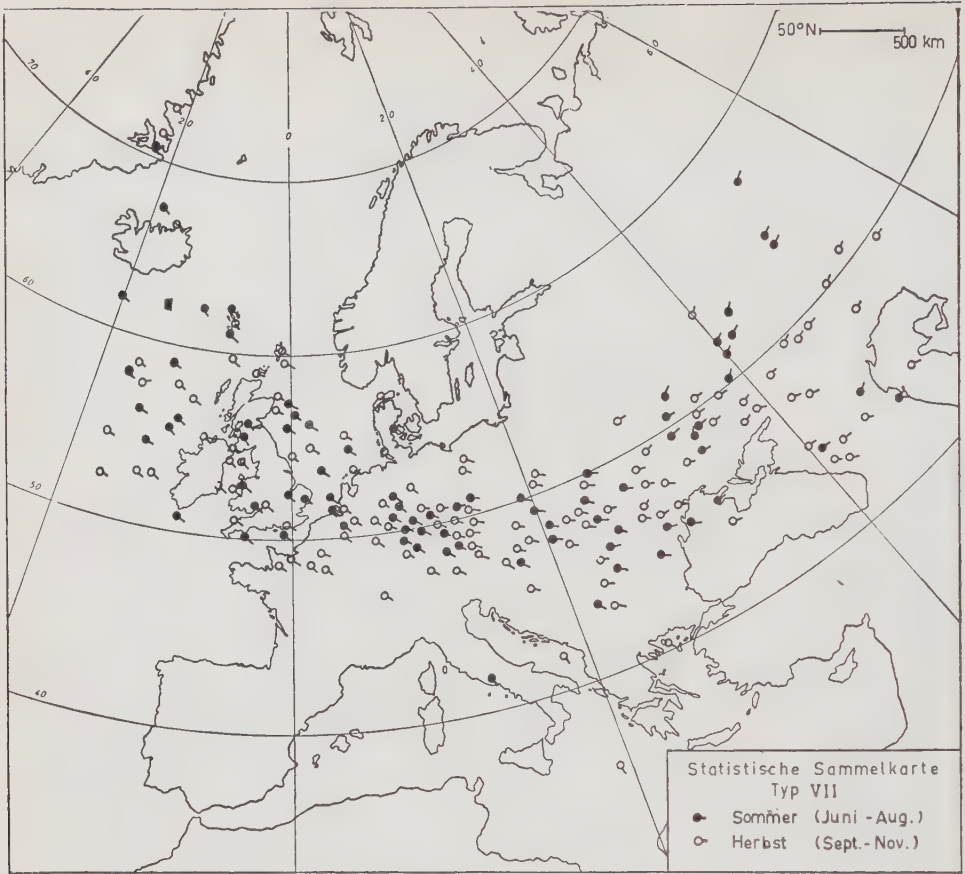
Isländische Zwischenhochbahnen

Dieser Bahntyp entspricht lagemäßig der sog. „Isländischen Achse“ nach MULTANOWSKY. Auch die monatlichen Bahnkarten nach KLEIN (1957) lassen eine ausgesprochene Bündelung von sog. „secondary tracks“ im Nordwestraum erkennen, mit einem Häufigkeitsmaximum im März/April und im Herbst und einem Minimum im Winter und Mai/Juni. Auch unser Typ VII erreicht sein Häufigkeitsmaximum im Oktober, die Minima fallen auf die Monate Februar und Juli/August. Nach MULTANOWSKY



kann nach dem Auftreten der „Isländischen Achse“ die synoptische Umstellung vom Sommer zum Herbst (als natürliche synoptische Jahreszeit) erkannt werden. Dies konnte z. T. auch nach unserem Material bestätigt werden; Bedenken dagegen wurden bereits in Abschnitt B geäußert.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß unser Typ VII keine isländischen Bahnen, die den Aufbau eines steuernden britischen Hochs einleiten, enthält (siehe Typ VI). Die synoptische Entwicklung von Typ VII kann daher einfach geschildert werden: Ein Ausläufer eines grönländisch-isländischen Hochzentrums wird abgeschnürt und wandert als selbständige Bodenhochzelle über England hinweg mit großer Geschwindigkeit nach Südosten (vgl. Musterbeispiel S. 44). Unterbleibt die Abschnürung eines Ausläufers, dann erstreckt sich eine Hochdruckzunge von Island über England nach Frankreich oder Mitteleuropa. Im Gesamtgeschehen des Witterungsablaufes betrachtet bilden die isländischen Bahnen, die sich mit den Hauptbahnen der Zyklonen meist rechtwinklig schneiden, häufig den Abschluß einer Zyklonenserie; seltener handelt es sich um Zwischenhochs zwischen Zyklonen ein und derselben Serie (vgl. die Klassifikation der Hochdruckgebiete nach CHROMOW). Es sind also kalte Hochzellen in Verbindung mit einem Polarluftausbruch aus dem Nordwesten (NW-KE

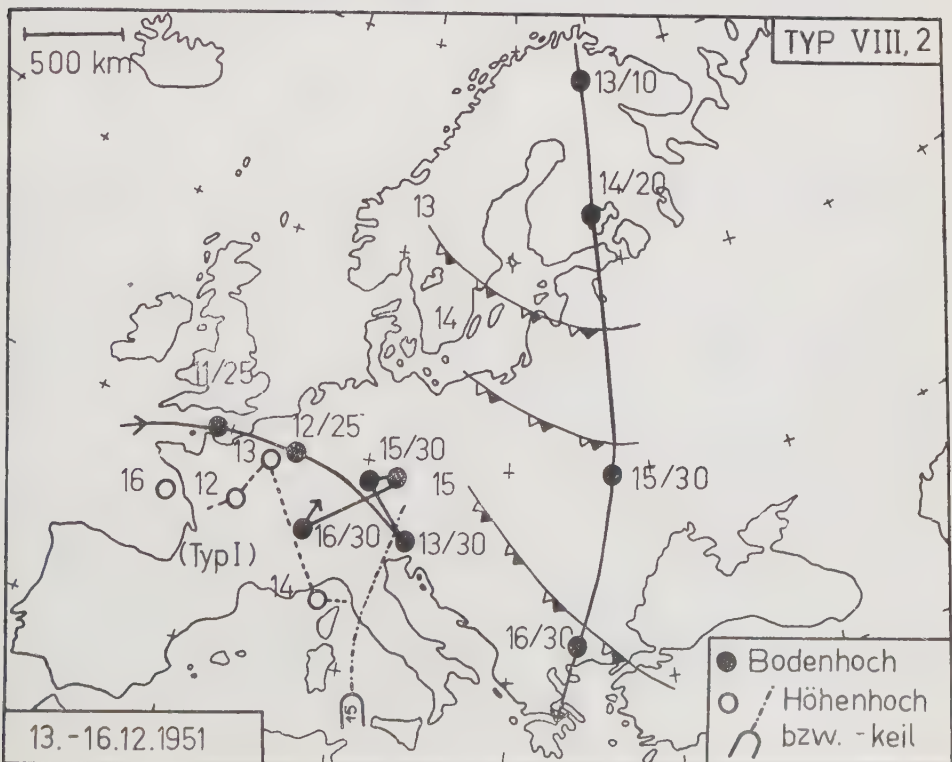
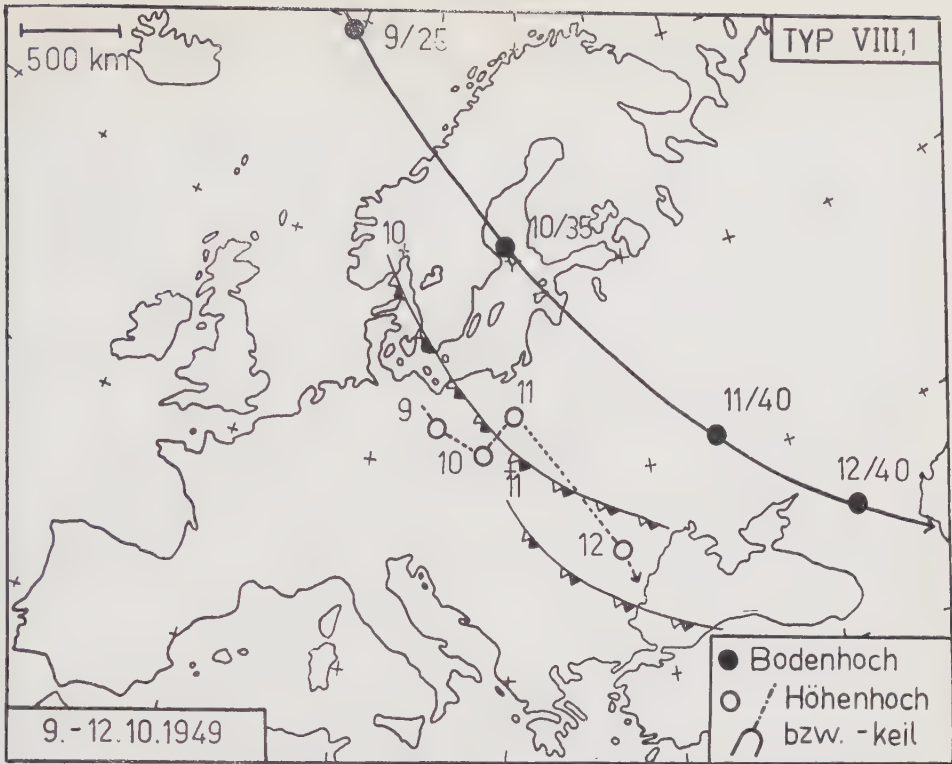


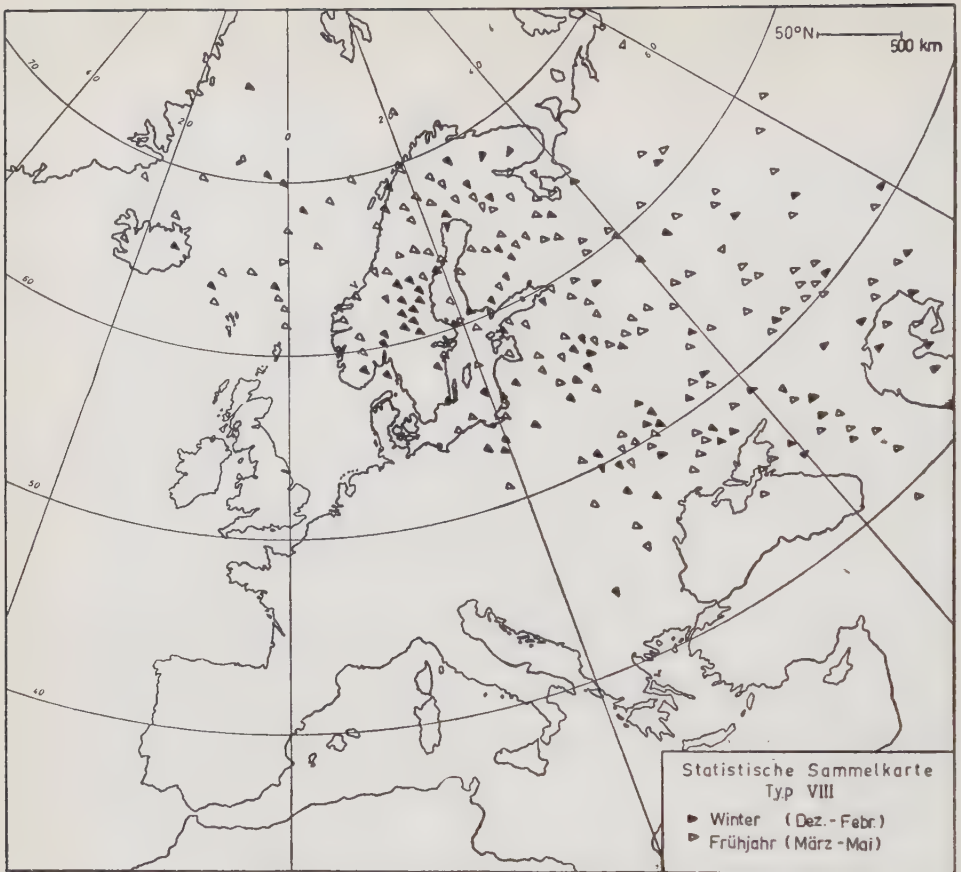
nach BLUTHGEN). Auch subpolare Druckwellen, die zusammen mit Störungen um ein britisches Hochzentrum auf antizyklonaler Bahn nach Mitteleuropa gesteuert werden und im weiteren Verlauf als eigene Hochzelle nach Osten oder Südosten weiter wandern, sind zu diesem Typ VII zu rechnen. Diese Hochzellen bewirken die kurzen Aufheiterungsabschnitte innerhalb der eingeflossenen Polarluft; in den Übergangsjahreszeiten haben sie oft einen beachtlichen Temperaturrückgang zur Folge.

Typ VIII:

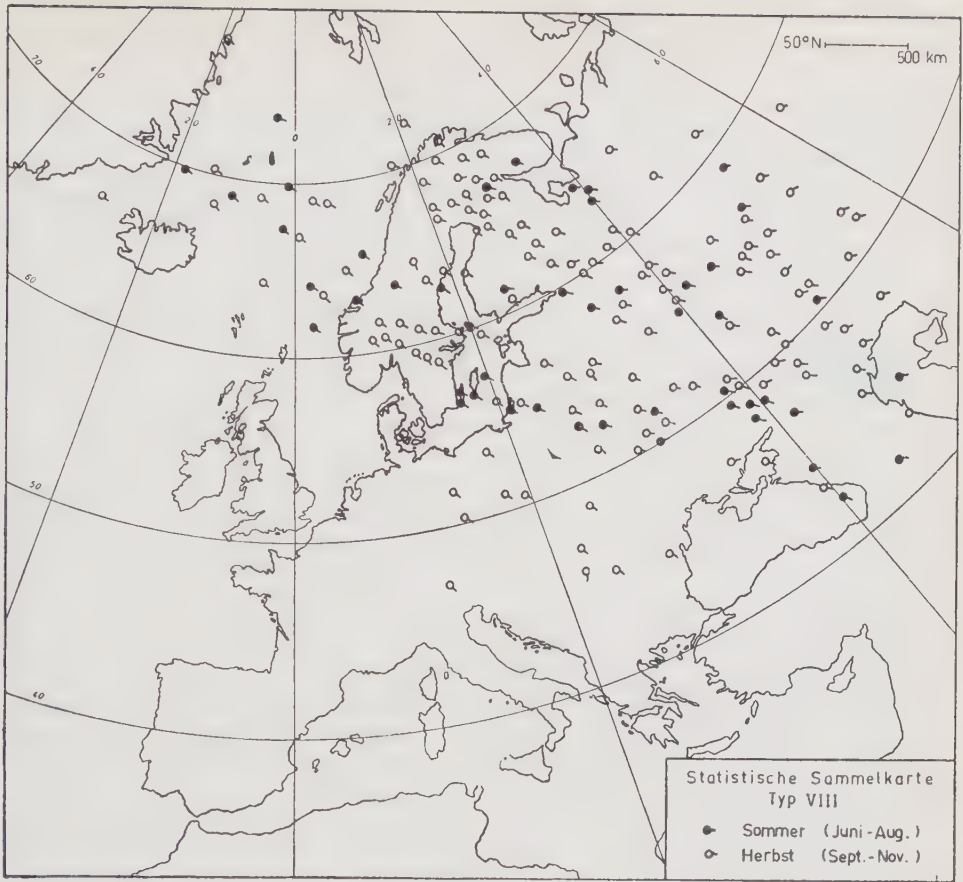
Skandinavische Zwischenhochbahnen

Durch Parallelverschiebung der isländischen Bahnen nach Nordosten erhalten wir diesen skandinavischen Typ, der ebenso wie der vorhergehende nur die Zwischenhochs umfaßt. Die Unterschiede zwischen VII und VIII sind also rein regionaler Art, nicht synoptisch. Eine kinematische Sammelkarte der Bodenhochs (nur als Arbeitskarte gezeichnet!) zeigt über Skandinavien ein breites Band von Bahnen, die von einer grönländisch-spitzbergischen Antizyklone ausgehen. Vom meteorologischen Standpunkt könnte man die isländischen und skandinavischen Zwischenhochbahnen auf





Grund ähnlicher synoptischer Entwicklungen zu einem einheitlichen Typ zusammenfassen. Aber erstens einmal wird der Raum zwischen England und Skandinavien tatsächlich nur von wenigen Hochzellen dieser Art überquert (das zeigen auch die monatlichen Bahnkarten von KLEIN), sodann bestehen auch Unterschiede hinsichtlich der Wetterwirksamkeit, z. B. für Mitteleuropa. Bei den isländischen Bahnen kommt Mitteleuropa nach einem Nordwestlufteinbruch (NW-KE nach BLUTHGEN) auf der Rückseite einer Zyklone häufig unter Zwischenhocheinfluß, so daß die Polarluft über Mitteleuropa zur Ruhe kommt, wenn auch nur kurzdauernd; bei den skandinavischen Bahnen liegt Mitteleuropa am Süd- oder Südwestabhang der wandernden kalten Hochzellen. Die isländischen Bahnen (Typ VII) werden z. T. an einem steuernden britischen Hoch, die südlichen skandinavischen Bahnen z. T. an einem mitteleuropäischen hochreichenden Hoch tangential vorbeigesteuert. Der Norden Mitteleuropas wird häufig noch von der kalten skandinavischen Hochzelle erfaßt: man vergleiche hierzu in dem Musterbeispiel für Typ VIII, 1 die Lage der Kaltfronten, die das Vorschieben und die Reichweite der Kaltluft kennzeichnen. Dies sind die kurzdauernden Oszillationen der indifferenten Kaltluft Skandinaviens (= Sk-KE nach BLUTHGEN). Die nördlichen skandinavischen Zwischen-



hochbahnen sind meist ohne Einfluß auf Mitteleuropa. Auf Grund dieser regionalklimatologischen Erwägungen wurden skandinavische und isländische Bahnen getrennt, wenn sie auch synoptisch gleichartig sind.

Die skandinavischen Bahnen entsprechen lagemäßig — ebenso wie die isländischen — den polaren oder normalen Bahnen nach MULTANOWSKY, und zwar der ganzjährig begangenen Nordkapachse (Lappland-Südural), der sommerlichen schwedischen Achse (Mittelskandinavien-Baltikum-nördliches Kaspiseevorland) und der winterlichen norwegischen Achse (Südskandinavien-Südrußland-nördlicher Kaukasus). Wir wollen gerade bei diesem Typ auf die Angabe einer Hauptachse verzichten; denn die Medianen (Achsen), die MULTANOWSKY durch fortschreitende Mittelung der individuellen Bahnen erhalten hat, führen leicht zu der Annahme von „bahnleeren“ Räumen; die Achsen können als Mittelwert sogar zwischen den tatsächlichen Bahnen liegen!!! Wir wollen für die skandinavische Zugbahnschar als Grenze gegen die isländischen Bahnen nur eine südliche Umhüllende angeben, die etwa von Südschweden nach Südrußland und zum Kaukasus verläuft. Das Musterbeispiel VIII, 1 zeigt eine mittelskandinavische Bahn gleicher Fortpflanzungsrichtung. Im Norden wurden

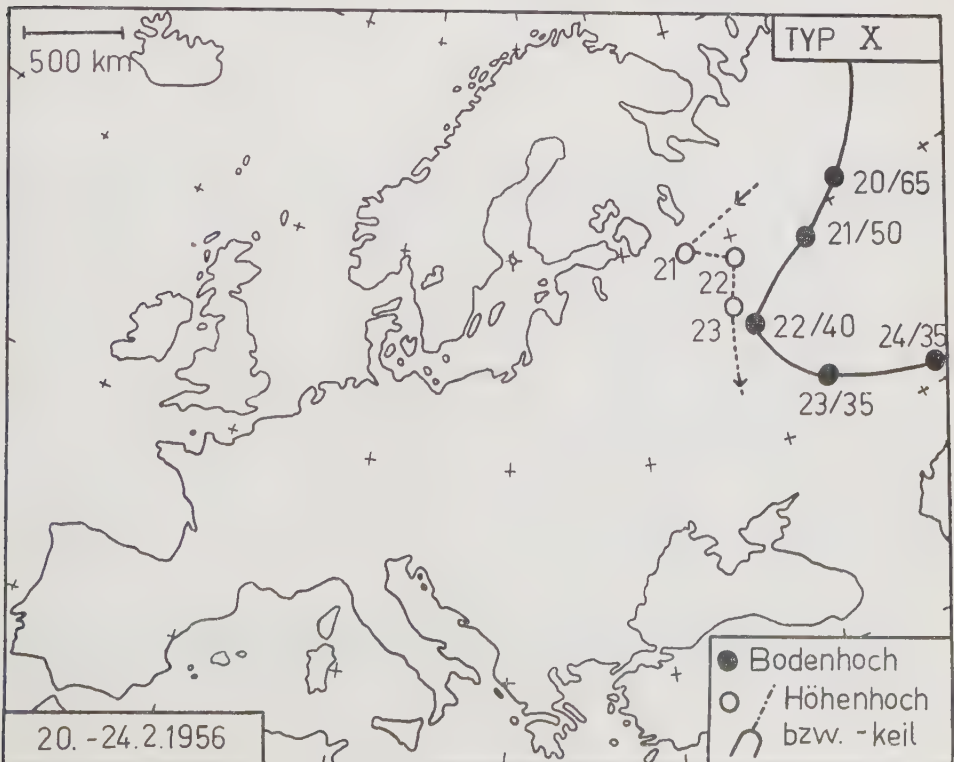
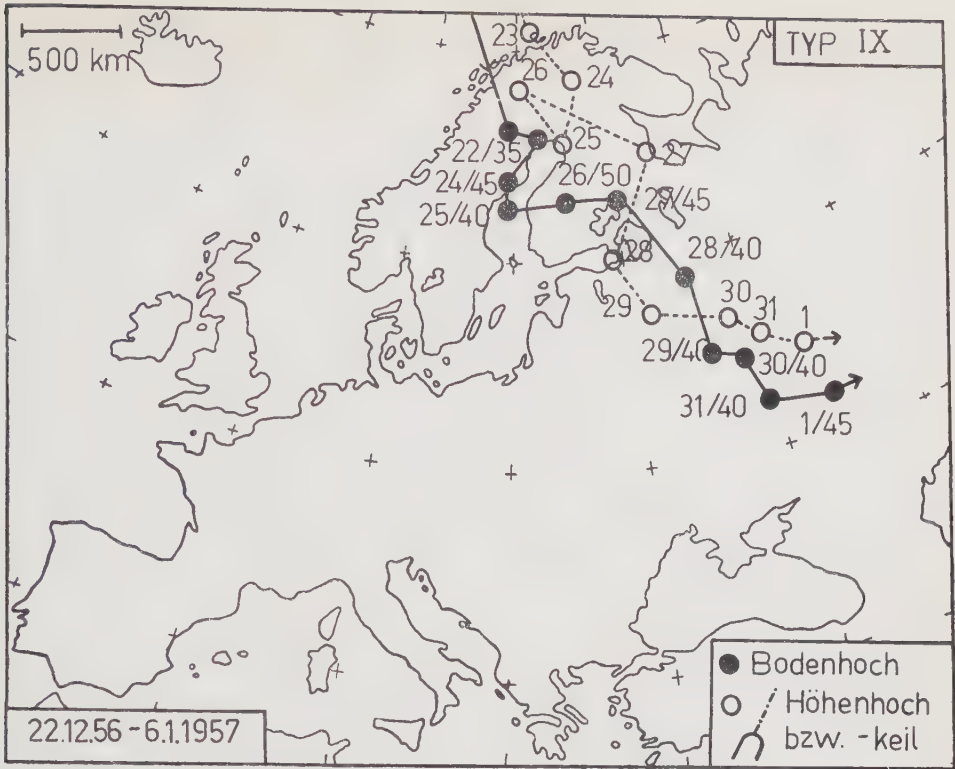
die Bahnen nur bis Lappland, d. h. bis zur Grenze unseres Untersuchungsraumes verfolgt. Die nordöstlich anschließenden Bahnen gleicher Richtung wurden auch von MULTANOWSKY bearbeitet und als Kaninachse bzw. Karische Achse bezeichnet. Die regionale Verschiebung und Lage der skandinavischen Zwischenhochbahnen im Jahresablauf zeigt die statistische Sammelkarte. Ähnlich wie bei Typ VII fallen die Maxima auf die Übergangsjahreszeiten (November und März), die Minima auf die Monate Juni und Februar. Bei einer Untersuchung des nordeuropäischen Klimas an Hand dieser Bahnen müßte dieser Typ selbstverständlich noch weiter regional differenziert werden.

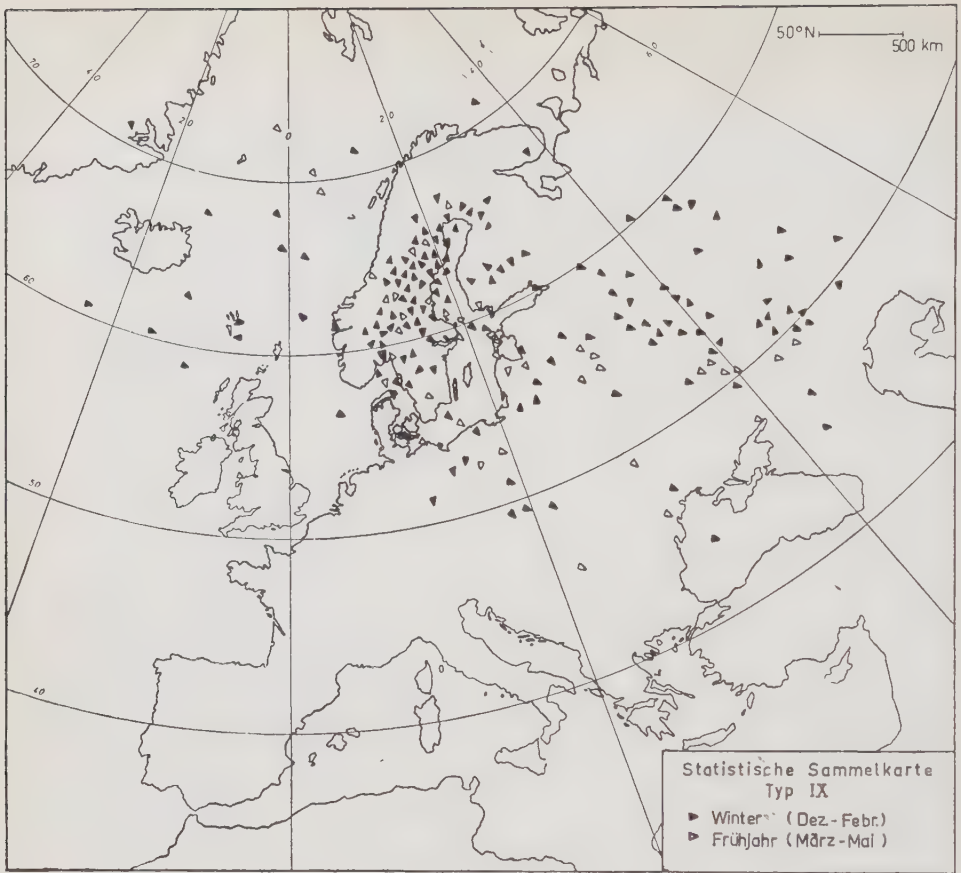
Zu Typ VIII rechnen wir auch die vorwiegend meridional von Nord nach Süd wandernden Hochzellen oder Hochausläufer, die als unselbständige Zwischenhochzellen an der Nordost- oder Ostseite eines mitteleuropäischen warmen Hochdruckgebietes von Finnland oder Mittelschweden zu den Karpaten gesteuert werden (vgl. dazu Musterbeispiel Typ VIII, 2). Es sind sog. „ultrapolare“ Bahnen (nach MULTANOWSKY) im Gegensatz zu den normalen oder „polaren“, die von NW nach SO verlaufen. Unter ihrem Einfluß steht besonders Osteuropa und das östliche Mitteleuropa. Im mittleren und westlichen Mitteleuropa ist meist das warme, steuernde Hoch wetterbestimmend, während in den östlichen Teilen (besonders im Spätherbst!) die ersten Kältevorstöße spürbar werden. Bisweilen schiebt sich die Kaltluft nur bis Böhmen oder Nordostdeutschland vor, um dann wieder zurückzuweichen, oder der Hauptstoß ist mit der Wanderung der Hochzelle in den Balkan gerichtet. Die Kältewelle ist meist nur von kurzer Dauer, da die nachfolgende Zyklone (längs der Zyklonenbahn IIIa nach VAN BEBBER) die Kaltluft wieder beseitigt. Näheres über die Dynamik der Kaltlufteinbrüche siehe bei BLUTHGEN! Die Lage der Bahnen stimmt ziemlich gut mit der „baltischen ultrapolaren Winterachse“ nach MULTANOWSKY überein. Die Existenz der ausschließlich auf die kalte Jahreszeit beschränkten „Nordkap-Italien-Achse“ (MULTANOWSKY) konnte nach dem vorliegenden Material nicht bestätigt werden. Augenscheinlich ist dies auch ein Ausdruck für die allgemeine Milderung der Winter in den letzten Jahrzehnten.

Typ IX:

Skandinavische selbständig steuernde Bahnen

Die letzten beiden Typen (IX und X) umfassen nur die selbständigen Hochdruckgebiete über Skandinavien und Rußland. Sie seien nur der Vollständigkeit wegen angefügt: Die genaue Beschreibung der synoptischen Vorgänge bedarf erst eingehender Untersuchungen. Bei beiden Typen kommt es zu einer grundlegenden Umstellung der normalen Druckverteilung mit unternormaler Zirkulation („low-index“). Wenn die Umstellung einmal vollzogen ist, dann kann sie auffallend stabil sein. Am Gesamtgeschehen haben beide Typen auf Grund ihrer Häufigkeit nur einen geringen Anteil; aber ihre klimatologische Bedeutung ist keineswegs gering: Ein oder zwei markante Vorstöße eines russischen Hochdruckgebietes oder der Aufbau eines fennoskandischen Hochdruckgebietes genügen voll- auf für das Zustandekommen eines extremen Winters in Mitteleuropa. Die auffallend hohe Dauer dieses Typs im Winter kann mit der großen

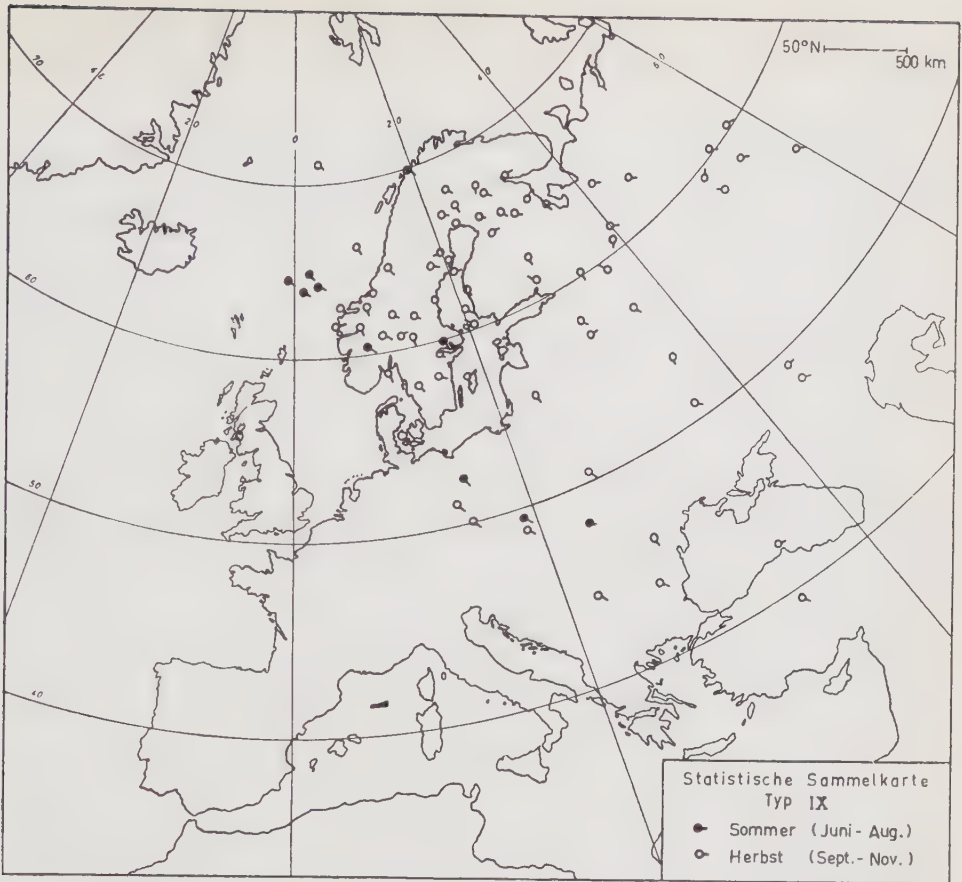




Reichweite dieser Hochdruckgebiete in der kalten Jahreszeit erklärt werden. In den Übergangsjahreszeiten ist der Einfluß bei gleicher Ausdehnung des Hochs wesentlich geringer, da konvektive Vorgänge am Rande des Hochdruckgebietes („Hochdruckrandlage“) dessen Einflußbereich einengen.

Eine Trennung der Typen IX und X war nicht immer einfach. Sie wurde nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen: 1. nach der vorherrschenden Lage des antizyklonalen Zentrums (bei Typ IX im fennoskandischen Raum — bei Typ X in Mitteleuropa), 2. nach der Herkunft (Vorstoß eines subpolaren Hochs — Vorstoß eines sibirischen Hochs) und 3. nach der vorherrschenden Verlagerungsrichtung: bei Typ IX eine normale (von West nach Ost gerichtete) bis meridionale, bei Typ X eine gegenläufige (von Ost nach West) bis meridionale Verlagerungskomponente. Die recht selten auftretenden Meridionalverlagerungen steuernder Hochdruckgebiete von Fennoskandien nach Mitteleuropa, z. B. im Februar/März 1955, wurden zu Typ IX gerechnet.

Das Musterbeispiel für Typ IX zeigt die langsame Verlagerung eines steuernden Antizyklonenzentrums, das über Norwegen entstanden ist, nach Mitteleuropa. Die zweite Phase dieser „Bahn“ könnte man lagemäßig



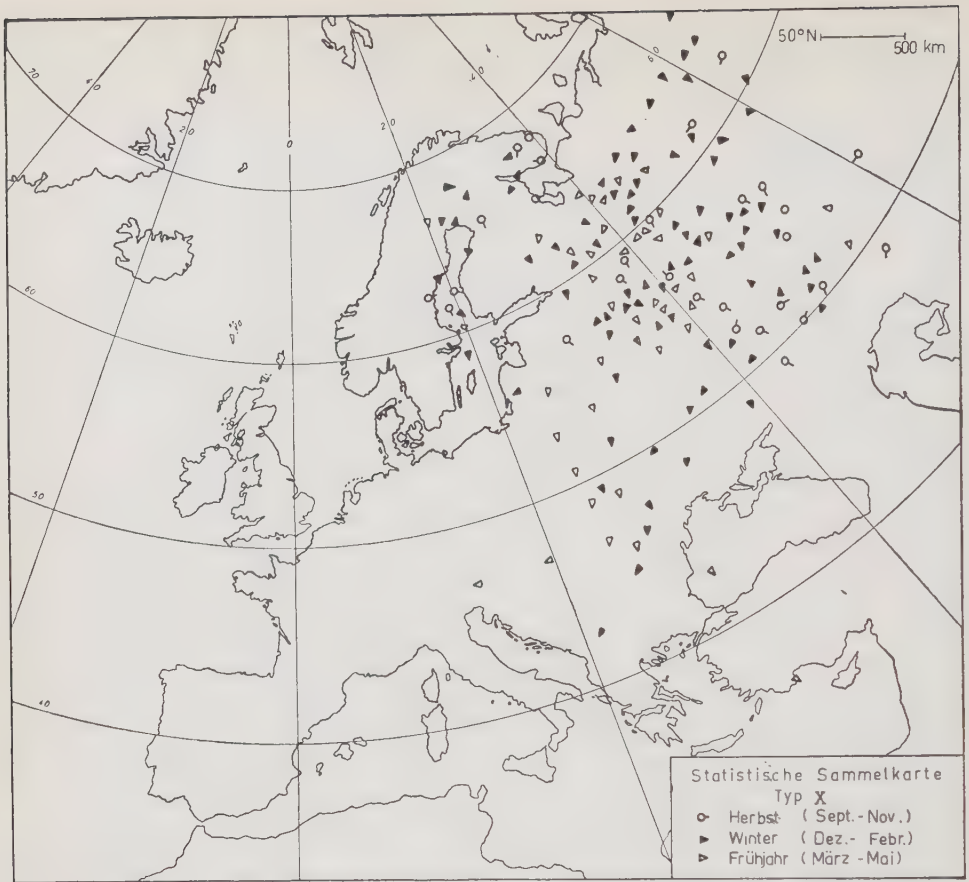
auch zu Typ X rechnen. Mit der Südostverlagerung dieses Hochs ändert sich auch der Weg und die Herkunft der Kaltluft. Der Nordostkaltluft-Einbruch wird durch Kaltluftzufuhr aus SE (SO-KE nach BLUTHGEN) abgelöst. Von Hochdruckbahnen kann kaum mehr die Rede sein; es sind völlig unregelmäßige Pendelbewegungen. Der statische Begriff der „Wetterlage“ ist bei diesem Typ und auch beim folgenden zutreffender. Selbstverständlich ist auch ein stationäres Hoch durch zahlreiche Einzelvorgänge zu erklären; aber diese zu untersuchen, ist Angelegenheit des Meteorologen.

Die winterliche Sammelkarte läßt eine deutliche Häufung von Hochkernen über Skandinavien erkennen. Die Hochdruckgebiete dieses Typs werden — wie die Sammelkarte zeigt — meist durch rasche Abwanderung nach Südosten abgebaut.

Typ X:

Hochbahnen östlicher Herkunft

Wenn Mitteleuropa unter dem Einfluß eines russischen Aktionszentrums steht, dann erstreckt sich meist nur ein Ausläufer eines mittel- oder westrussischen Zentralhochs nach Mitteleuropa. Die Verlagerung



eines nordeurasischen Kältehochs über das Baltikum nach Polen und dem Balkan meridional von Nord nach Süd (auf ultrapolarer Bahn nach MULTANOWSKY) ist schon sehr ungewöhnlich. Ein extremes Beispiel dieser Art schildert SCHERHAG (1948, S. 131) bei der ausführlichen Beschreibung des kalten Winterhochs im Januar 1907. Die Fälle, bei denen ein Hoch auf gleicher Bahn gleichzeitig von Westen her dynamisch erwärmt wird, rechnen wir zu den Meridionalbewegungen der selbständigen subpolaren Hochs (Typ IX, vgl. die Bahn vom 7. 3. 1957 ff. in dem Musterblatt März 57/I, S. 17). Die baltische „ultrapolare“ Achse nach MULTANOWSKY wird somit auf Grund der Höhenvorgänge „aufgelöst“: Sie verteilt sich auf die Typen VIII (subpolare kalte Zwischenhochs am Ostrand eines dynamischen Mitteleuropahochs), IX (meridionale Nord-Süd-Verlagerung eines dynamisch erwärmten Hochs) und X (meridionale Nord-Süd-Verlagerung eines kalten selbständigen Hochs östlicher Herkunft). Auch die mittlere Luftdruckkarte des Januar mit der WOEIKOFFschen Kontinentalachse wird somit aufgelöst: die Fälle, bei denen ein Ausläufer des russischen Hochs am Boden (z. B. November 1953) als dynamischer Vorstoß des Azorenhochs erklärt werden kann (siehe Höhenkarte!), wurden zu Typ I gezählt. Für Typ X bleiben also nur die in der Höhe und am Boden ausgeprägten zonal-retro-

graden und meridionalen Bewegungen (vgl. TEICH) östlicher Hochdruckgebiete übrig. Man vergleiche hierzu auch die Untersuchungen über die kalten metastabilen Hochdruckgebiete von FLOHN (1949).

Der nach Südwesten vorgeschobene Ausläufer des russischen Hochs macht sich nur selten selbständig. Er bleibt meist in Verbindung mit dem Zentralhoch, wobei der Ausläufer meist von Nord nach Süd (Baltikum—Balkan) einschwenkt. Bemerkenswert ist, daß am Südabhang dieser nach SW gegenläufigen Hochdruckgebiete auch die zyklonalen Wellen (ähnlich den passatischen easterly waves) von Ost nach West, also gegenläufig gesteuert werden (vgl. dazu März 1958). Die Verlagerung eines nord-uralischen Hochdruckgebietes nach Südwesten veranschaulicht das Musterbeispiel (Typ X) vom Februar 1956 (Ursache eines markanten Nordost-Kaltlufteinbruches!). Die mittlere Druckverteilung der Typen IX und X entspricht dem Wintertyp A (kalt und trocken) nach TEISSERENC DE BORT. O. FINCK hat diesen Typ weiter differenziert: sein Druckanomalientyp 1 b deckt sich weitgehend mit unserem Typ IX, 1 a mit X. BLUTHGEN schildert die Auswirkung dieses Typs bei seinen NO-Kältewellen.

In den Häufigkeitskurven (S. 67) wurden die Typen IX und X vereinigt. Auf Typ IX entfallen 30, auf Typ X nur 15 Bahnen. Die Zahl der Fälle, die sich aus unserem 11jährigen Material ergeben hat, reicht noch nicht aus, eine durchschnittliche Verlagerung und Entwicklung beider Typen angeben zu können. Beide Typen, die sich für die Gestaltung unseres Winters sehr folgens schwer auswirken können, bedürfen noch eingehender Untersuchungen, die der besonderen Dynamik dieser Hochdruck-„Bahnen“ gerecht wird.

3.) Jahresgang der Typen

Bei der Einzelbeschreibung der Typen wurde unter anderem auch die Häufigkeit der Bahnen im Jahresablauf erörtert. Im Anschluß an den systematischen Teil soll nun zusammenfassend eine zeitliche Synthese versucht werden, d. h. eine Schilderung des idealen Jahresablaufes, wie er sich durch das Zusammenwirken und das wechselnde Kräftespiel der einzelnen Bahntypen ergibt.

Für diesen Zweck wurde für jeden Bahntyp der Jahresgang graphisch dargestellt (S. 67). Zum besseren Vergleich der Jahresgänge erwies es sich zweckmäßig, jeweils drei Typen in einer Figur zusammenzufassen, und zwar die Typen II, VII und VIII als reine Zwischenhochbahnen (Fig. 3), die Typen III, V und VI als typische Bahnen der warmen Jahreszeit bzw. der Übergangsjahreszeiten (Fig. 4) und die Typen I, IV und IX/X, deren Maximum in die kalte Jahreszeit fällt (Fig. 5). Bei einer Betrachtung der graphischen Darstellungen ist man leicht geneigt, die Zacken der einzelnen Kurven gewissermaßen als „Singularitäten“ oder „Regularitäten“ der Zugbahnen zu deuten. Dieser Gedanke liegt zwar nahe, führt aber leicht zu unwissenschaftlichen Spekulationen; unser 11jähriges Zugbahnen-Material ist zwar für eine Klassifikation ausreichend, aber noch nicht für eine zu weitgehende Deutung der zeitlichen Häufigkeitswerte. Dieser Tatsache müssen wir uns stets bewußt bleiben, wenn wir im folgenden den ersten Versuch einer zeitlichen Synthese der antizyklonalen Vorgänge über Europa wagen.

Wir beginnen unsere Schilderung mit der kalten Jahreszeit. Im Winter (Dezember) erreicht unser Typ I seinen Häufigkeitsgipfel; Mitteleuropa wird von den kontinentalen Hochdrucklagen mit Schwerpunkt über Süddeutschland und dem Alpenraum beherrscht. Der kalte Höhentrog über Osteuropa verhindert ein weiteres Vordringen azorischer Hochdruckgebiete nach Osten; Typ III setzt ganz aus (Minimum im Januar). Bisweilen wird Typ I von den Typen IX und X abgelöst; dann wird die autochthone Witterungsgestaltung mit Strahlungsfrösten bei ruhigem Hochdruckwetter durch advektive Einflüsse aus dem Nordostraum abgelöst. Das gilt in zunehmendem Maße für die Witterung der Monate Januar und Februar, wenn die Häufigkeit von Typ I wieder abnimmt und das Maximum von IX/X erreicht wird (Februar). Die wenigen winterlichen Zwischenhochs auf den Bahnen II und VII bewirken kurzfristige Aufheiterungen während der zyklonalen Phasen des Winters. Ihre Auswirkung hängt sehr stark von der Witterungsvorgeschichte, z. B. von dem Bestehen einer Schneedecke ab. Insgesamt wird der Ablauf eines vorwiegend antizyklonalen Winters durch das Wechselspiel und das Zusammenwirken östlicher Hochdruckgebiete auf den Bahnen IX und X mit azorischen Hochdruckgebieten auf Bahn I bestimmt. Dies entspricht auch der WOEIKOFFschen „Kontinentalachse“ der mittleren Luftdruckkarten des Winters.

Tabelle 3
Häufigkeit der Typen pro Jahr von 1947 bis 1957

Typ	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	1947—57
I	4	2	11	8	3	1	9	4	3	6	5	56= 9,0%
II	5	15	10	18	12	12	10	22	12	17	13	146=23,2%
III	2	5	4	4	6	7	7	6	5	8	4	52= 8,3%
IV	3	5	1	5	4	3	1	1	7	2	—	32= 5,1%
V	10	6	5	6	4	3	7	6	7	2	2	58= 9,2%
VI	4	5	5	—	3	5	8	4	6	8	6	54= 8,6%
VII	7	5	3	10	9	12	5	4	20	4	8	87=13,8%
VIII	2	10	9	10	12	10	9	7	8	9	12	98=15,6%
IX	5	3	1	2	3	2	1	3	3	4	3	30= 4,8%
X	1	—	2	1	1	2	2	3	—	2	1	15= 2,4%
I—X	43	56	51	64	57	57	59	60	71	56	54	628=100%

Tabelle 4
Häufigkeit der Typen pro Monat von 1947 bis 1957

Typ	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jan.—Dez.
I	7	4	3	2	4	5	5	2	3	6	5	10	56= 9,0%
II	9	8	7	11	10	13	22	25	18	11	7	5	146=23,2%
III	—	—	1	3	4	8	9	13	9	4	1	—	52= 8,3%
IV	4	3	4	4	2	1	1	—	1	5	3	4	32= 5,1%
V	2	1	4	7	9	5	7	12	3	6	1	1	58= 9,2%
VI	3	5	5	8	4	3	2	3	4	7	6	4	54= 8,6%
VII	7	6	10	11	4	9	3	5	9	12	6	5	87=13,8%
VIII	10	2	10	7	14	8	2	3	8	9	15	10	98=15,6%
IX	5	7	2	2	2	1	—	—	2	3	3	3	30= 4,8%
X	3	3	4	—	—	—	—	—	—	1	2	2	15= 2,4%
I—X	50	39	50	55	53	53	51	63	57	64	49	44	628=100%

Fig. 3: Jahresgang der Typen II (—), VII (---) und VIII (-.-.-)

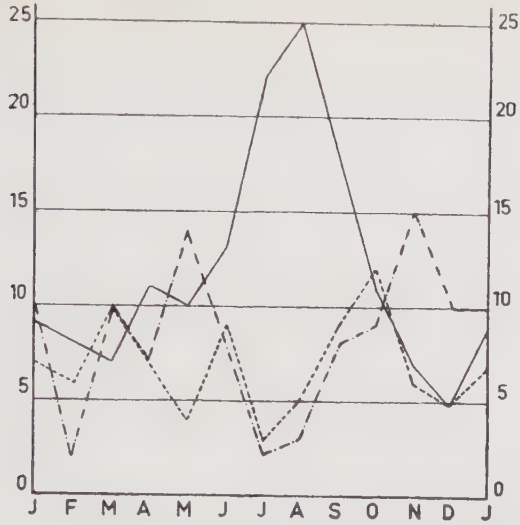


Fig. 4: Jahresgang der Typen III (—), V (---) und VI (-.-.-)

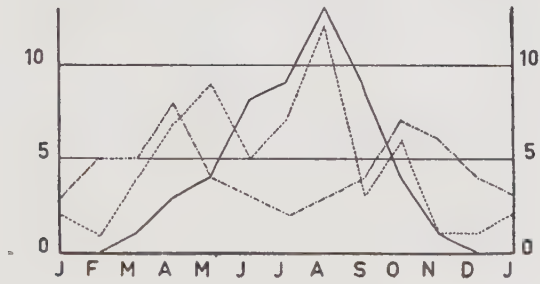
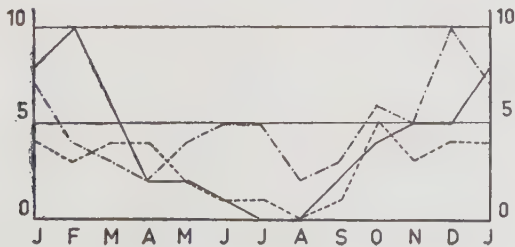


Fig. 5: Jahresgang der Typen I (-.-.-), IV (---) und IX/X (—)



Gegen Ende des Winters setzen mit der langsamen Nordwärtsverlagerung des azorischen Aktionszentrums der mittleren Luftdruckkarten die Typen IV, V und VI ein. Die dynamischen Vorstöße des Azorenhochs bleiben in der Biscaya stecken und beeinflussen nur das südwestliche Europa, d. h. Typ IV erreicht im März/April seinen ersten Frühjahrsgipfel, während in gleichem Maße die Häufigkeit von Typ I weiterhin abnimmt. Mit der zunehmenden Erwärmung und der weiteren Verschiebung der mittleren Zirkulationsgürtel nach Norden setzt Typ IV wieder aus. Die Hochdruckvorstöße besitzen jetzt also schon weit mehr Energie, so daß die dynamischen Verlagerungen des Azorenhochs im Frühjahr die Britischen Inseln (Typ VI, Maximum im April) und darüber hinaus auch das Nordmeer und Skandinavien (Typ V mit einem ersten Maximum im Mai) erreichen. Subpolare Druckwellen auf Bahn VI bewirken den Aufbau oder den Fortbestand bereits bestehender britischer Hochdruckgebiete. Diese steuernden Hochs werden entweder an Ort und Stelle (VI, a) oder infolge Abwanderung nach Frankreich oder Westdeutschland abgebaut. Mitteleuropa bleibt dabei in der kalten Nord- oder Nordwestströmung mit allen typischen Erscheinungen des Aprilwetters (erstes Maximum von Typ VI im April). Die subpolaren Kältehochs, die auf Bahn VII von Island nach Mitteleuropa wandern und nach ihrem winterlichen Tiefstand im Februar ihr erstes Maximum im März erreichen, werden zum Teil um die britischen Hochdruckgebiete (Typ VI) herumgesteuert. Das Frühjahrsmaximum der subpolaren Zwischenhochs auf Bahn VIII liegt dagegen etwas später: im Mai, wenn die Häufigkeit von Typ VII schon wieder etwas abnimmt. Die Kurve zeigt (Fig. 3), daß das allgemeine Frühjahrsmaximum von Typ VII durch ein Minimum im Mai gegabelt wird. Anscheinend hängt dies damit zusammen, daß im Mai wieder kontinentale Hochdruckgebiete in Mitteleuropa (Typ I) auftreten. Die Häufigkeitszunahme von Typ I im Mai steht wiederum in Zusammenhang mit dem Hochdruckgefall des Späthfrühlings. In dieser Zeit können also die subpolaren Zwischenhochs nur über Skandinavien, also auf Bahn VIII, nach Südosten wandern.

Auch die ersten Wärmeperioden des Sommers können wir wenigstens zum Teil noch Typ I zuschreiben, z. B. Juni 1957 (meist aber schon Typ III). Im Hochsommer nimmt die Häufigkeit von Typ I sehr stark ab (Minimum im August); in gleicher Weise auch die subpolaren Zwischenhochs auf den Bahnen VII und VIII (für beide Minimum im Juli). Die Tätigkeit des grönländischen Aktionszentrums wird somit völlig ausgeschaltet. Dafür tritt das Azorenhoch als beherrschendes Aktionszentrum immer stärker in den Vordergrund, so daß der mitteleuropäische Sommer schlechthin als die Zeit der Azorenvorstöße bezeichnet werden kann. Die Typen IV und VI, die zwar auch zu den Azorenvorstößen gerechnet werden, haben allerdings im Juli/August ihr absolutes Minimum. Die dynamischen Azorenvorstöße sind eben wegen ihrer großen Energie in der warmen Jahreszeit so kräftig, daß sie nicht mehr in der Biscaya stecken bleiben (Minimum von Typ IV). Kräftige britische Hochdruckgebiete sind nicht auf Azorenvorstöße des Typ VI (Minimum im Juli), sondern auf Typ V zurückzuführen, d. h. auf dynamische Hochdruckvorstöße, die wiederum auf Grund des Energieüberschusses des azorischen Aktionszentrums über England hinweg nach Skandinavien und Nordrußland auf Bahn V (Maximum im August) vordringen. Mitteleuropa steht aber hauptsächlich unter dem

Einfluß der Typen II und III. Längere Monsunpausen mit kräftiger Erwärmung bewirkt Typ III, dessen Häufigkeit bis zum August kontinuierlich zunimmt. Kurzfristige Zwischenaufheiterungen, die besonders in Süddeutschland und dem Alpenraum wirksam werden, während das nördliche Deutschland zyklonal beeinflusst wird, sind Typ II zuzuschreiben, dessen Maximum ebenfalls im August liegt, während die subpolaren Zwischenhochs auf Bahn VII und VIII zur gleichen Zeit ihr absolutes Minimum haben.

Die Umstellung zum Herbst äußert sich in einer ständigen Abnahme der azorischen Zwischenhochdruckbahnen (Typ II). Mit der Belebung der Zyklonentätigkeit im Norden kommen dafür die subpolaren Zwischenhochbahnen (Typ VII und VIII) wieder in Gang, und zwar zuerst die isländischen (VII, Maximum im Oktober), etwas später auch die skandinavischen (VIII, Maximum im November). Spätsommerliche und frühherbstliche Schönwetterlagen verdanken wir Typ III, der im Oktober noch einmal ein schwaches Maximum zeigt, aber in weit stärkerem Maße Typ VI, b: Hochdruckgebiete, die über den britischen Inseln aufgebaut werden, führen zu den ersten Einbrüchen polarer Luftmassen, die durch die auf Bahn VII nachfolgenden Zwischenhochs oder durch das steuernde britische Hoch selbst, das im weiteren Verlauf von den Britischen Inseln über Deutschland hinweg nach Osten wandert, zur Ruhe kommt. Diesem Vorgang verdanken wir ruhiges und zum Teil sonniges Herbstwetter. Gelegentlich wird diese Witterung durch ein Hoch auf Bahn IX, die jetzt in Aktion tritt, fortgesetzt. Wenn im Herbst die Hochdruckgebiete nicht mehr auf Bahn III nach Osteuropa vordringen — das azorische Aktionszentrum der mittleren Luftdruckkarten zieht sich wieder zurück —, tritt ebenso wie im Frühjahr wieder Typ IV stärker in den Vordergrund (zweites Maximum im Oktober). Mit der Umstellung auf winterliche Verhältnisse wird er seinerseits wieder von den Typen I und IX/X (zum Teil) abgelöst. Typ I beschert uns ruhiges und niederschlagsfreies Spätherbstwetter, wenn auch meist mit zähen Hochnebeldecken verbunden. Die Typen IX und X lassen die ersten Vorstöße winterlicher Kaltluft, meist aus Skandinavien, in Mitteleuropa spürbar werden. Damit beginnt der ideale Jahresgang von neuem.

E) Zusammenfassung

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß diese Typengliederung den ersten Versuch einer Klassifikation der antizyklonalen Vorgänge nach dynamischen und regionalen Gesichtspunkten für einen klimatologischen Zweck darstellt. Es kann und darf nicht erwartet werden, daß jede individuelle Entwicklung in einen dieser Typen eingeordnet werden kann. Jeder einzelne Wettervorgang, jede Jahreszeit, jedes einzelne Jahr ist ein Individuum. Aus der Vielzahl der Einzelfälle konnte nur das Typische herausgeschält werden. Eine Klassifikation der Zugbahnen ist somit ebenso zu werten wie eine Klassifikation der Wetterlagen, der Kälte- und Wärmewellen, der Luftmassen oder der Witterungsregelfälle. Im wechselvollen Jahresablauf des Witterungsgeschehens können, wie A. SCHMAUSS einleitend zu seinen „Singularitäten“ betonte, nur gewisse Regelmäßigkeiten hindurchschimmern; sie können eintreten, müssen es aber nicht und sind

daher nicht von prognostischer, wohl aber von klimatologischer Bedeutung, da sie der Vielfalt des Witterungsablaufes weit mehr Rechnung tragen als die Mittelwerte.

Vorliegende Klassifikation ist genetisch im klimatologischen Sinn. Eine undifferenzierte Kartierung aller Zugbahnen gibt verständlicherweise nur ein unübersichtliches Gewirr. Dieser Weg zur Rekonstruktion der Bahnen ist hier jedoch ganz bewußt nicht beschritten worden. Sobald wir nämlich — wie geschehen — die Bahnen nach genetischen, synoptischen und regionalen Gesichtspunkten differenzieren, schaffen wir Ordnung in diesem „Netzwerk“ der Bahnen und somit auch in dem vielfältigen Ablauf des Witterungsgeschehens. Der zeitliche Gesichtspunkt wurde für die Klassifikation selbst überhaupt nicht, sondern erst bei der Beschreibung der Typen berücksichtigt. Die Konstruktion eines idealen Jahresganges an Hand sämtlicher Typen kann ebenso nur als ein erster Versuch gewertet werden. Somit ist diese Arbeit, die sich vor allem auf die Typengliederung als solche beschränkt, in erster Linie ein methodischer Beitrag für eine klimatologische Auswertung der Zugbahnen in geographischer Sicht.

F) Literatur

Vormerkung: Außer den im Text zitierten Schriften sind auch einige Arbeiten genannt, die für die Untersuchung mittelbar von Bedeutung waren. Eine Vollständigkeit kann damit nicht angestrebt werden.

- | | | |
|---|--------------|--|
| BAND, G. | 1955 | Ist der Main eine Wetterscheide? Z. f. M. (9), S. 14—21. |
| BAUR, F. | 1948 | Einführung in die Großwetterkunde. Wiesbaden. |
| — ders. | 1947 | Musterbeispiele europäischer Großwetterlagen. Wiesbaden. |
| — ders. | 1949 | Die Erscheinungen des Großwetters. In HANN-SURING: Lehrbuch der Meteorologie (s. u.), 5. Aufl., S. 903—976. |
| BEBBER, W. J. van | 1891 | Die Zugstraßen der barometrischen Minima nach den Bahnkarten der Deutschen Seewarte für den Zeitraum 1875—90. Met. Z. (10), S. 361—366. |
| — ders. | 1894 | Häufigkeit und Tiefe der barometrischen Minima sowie Bahnen der Maxima und stationäre Maxima in dem Zeitraum vom Winter 1883/84 bis Ende Herbst 1887. Ann. Hydr. Mar. Met. (22), S. 208—218. |
| BEBBER, W. J. van und KOPPEN, W. | 1895 | Die Isobarentypen des Nordatlantischen Ozeans und Westeuropas, ihre Beziehungen zur Lage und Bewegung der barometrischen Maxima und Minima. Archiv Deutsche Seewarte Bd. 18, 4, Hamburg. |
| BLUTHGEN, J. | 1940 | Geographie der winterlichen Kaltlufteinbrüche in Europa. Archiv Deutsche Seewarte Bd. 60, 6/7, Hamburg. |
| — ders. | 1941 | Kaltlufteinbrüche und Wärmewellen als Grundlage von Klimauntersuchungen. Z. f. angew. Met. 58, S. 244—257. |
| — ders. | 1942 | Kaltlufteinbrüche im Winter des Atlantischen Europa. Geograph. Zeitschr. 48, 1/2, S. 21—46. |
| BORSOS, J. | 1952 | Types de trajectoires des cyclones et anticyclones et leurs fréquences. Időjárás Jg. 56, S. 279 (nur ungar. mit franz. Zusammenfassung). |
| BREZOWSKY, H. | 1951 | Bemerkungen zur Antizyklonese. Ann. Met., S. 330—335. |
| — ders. | 1951 | Synoptische Methoden zur Vorhersage von Umsteuerungen im europäisch-atlantischen Raum Ann. Met. (4), S. 295—309. |
| BROUNOW, P. | 1886 | Die Antizyklonen in Europa. Repert. f. Met., St. Petersburg, Bd. 10 (8). |
| CHROMOW, S. P., KONCEK, N. u. SWOBODA, G. | 1940 u. 1948 | Einführung in die synoptische Wetteranalyse. Wien, 532 S. oder 2. Auflage: Grundlagen der synoptischen Meteorologie. Moskau (nur russ.). |
| DULETOWA, PAGAWA, ROSCH-DESTWENSKY, SCHIRKINA | 1940 | Grundlagen der synoptischen Methode der Langfristprognosen. Moskau, 368 S. |
| EVJEN, S. | 1953 | The frequency of anticyclone centers over Northwest and Middle Europe. Norsk Geografisk Tidsskrift, Bd. 14, H. 1—4 (nur norweg. mit engl. Zusammenfassung). |

- ders. 1953 Number and directions of cyclones passing Norway and the Norwegian Sea. Meteorologische Annalen, Bd. 3, Nr. 9.
- ders. 1954 Number of cyclones and anticyclones in Northwest and Middle Europa. Meteorologische Annalen (Oslo), Bd. 3, Nr. 16.
- FLOHN, H. 1949 Über kalte, metastabile Hochdruckgebiete. Met. Rund. 2. Jg., Heft 3/4, S. 67—75.
- ders. 1954 Witterung und Klima in Mitteleuropa. Forsch. Dt. Ldk., Bd. 78.
- FLOHN, H. und HOFMANN, A. Methoden und Entwicklung der Mittel- und Langfristprognose. Met. Rund., S. 5.
- FINCK, O. 1936 Zur Thermodynamik strenger und milder Winter. Diss. Leipzig.
- HANN, J. und SURING, R. 1949 Lehrbuch der Meteorologie, 5. Aufl.
- HESS, P. und BREZOWSKY, H. Katalog der Großwetterlagen Europas. Ber. Dt. Wd. US-Zone, Nr. 33.
- HEYER, P. 1952 Bemerkungen über Klimatologie und Meteorologie. Ber. Dt. Wd. US-Zone, Nr. 42, S. 42—43.
- KLEIN, W. H. 1956 Prevailing Tracks of Lows and Highs. Weatherwise 1956 vol. 9 (Nr. 3, 4, 5, 6), 1957, vol. 10 (Nr. 2, 3).
- ders. 1957 Principal Tracks of Cyclones and Anticyclones in the Northern Hemisphere. U.S. Weather Bureau Research Paper No. 40.
- LAUSCHER, F. 1954 Dynamische Klimaskizze von Österreich. In FLOHN, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa (s. o.), S. 145—158.
- LEHMANN, M. 1950 Die Hochdrucklagen als Singularitäten im Witterungsverlauf von Mitteldeutschland. Z. f. M., S. 21—31.
- LOOMIS, E. 1876 Contributions to Meteorology, Being Results Derived from Examination of the United States Weather Maps and from other sources. 4th paper, American Journal of Science and Arts, 3d series, vol. XI, No. 61.
- MAEDE, H. 1953 Die Hochdrucklagen im Raum der südlichen Ostsee und des angrenzenden Flachlandes in klimatologischer Betrachtung. Z. f. M. (7), S. 129—146.
- MARKGRAF, H. 1952 Wiederholung eines Witterungsablaufes in Nordwestdeutschland. Ber. Dt. Wd. US-Zone, Nr. 42, S. 293—299.
- MARKGRAF, H. und MACHT, G. Zyklonenetische Gebiete auf dem nordatlantischen Ozean. Ann. Met. Bd. 7, S. 21—31.
- MERTINS, H. O. 1957 Sturmweatherlagen bei Island 1950—1954. Einzelveröff. 12, Seewetteramt Hamburg.
- MILDNER, P. 1952 Zum Problem der Symmetriepunkte. Ber. Dt. Wd. US-Zone, Nr. 38, S. 81—84.
- ders. 1954 Über den Zusammenhang zwischen Polarfront in den höheren Schichten der Troposphäre und der Entwicklung und Bewegung der Bodendruckgebilde. Inst. f. Met. u. Geoph. d. Fr. Univ. Berlin, Met. Abh., Berlin (Tagung der Deut. Met. Ges. 1953).

- MIRONOVITCH, V. 1951 Principes essentiels de la méthode de Moulta-
novski de prévision à longue échéance. La Me-
teor., S. 197.
- MULLER-ANNEN, H. 1950 Zur Prognose der Zugbahnen von Tiefdruckgebie-
ten. 1. Teil: Zugbahnen und Geschwindigkeit der
Tiefdruckgebiete. Ann. Met., S. 341—351.
- NEIS, B. 1949 Die synoptische Methode der Langfristprognose
der Schule B. P. Multanowsky. Z. f. M., S. 304—309
und S. 329—335.
- RICHTER, G. 1938 Singularitäten der Zyklonenfrequenz in einzelnen
5°/10°-Feldern. Veröff. Leipzig 9, 4, S. 273—322.
- RODEWALD, M. 1937 Zur Frage der allgemeinen Zirkulation im stren-
gen Winter 1928/29. Ann. Hydr. u. Marit. Met.
65, S. 569.
- RUNGE, H. 1931 Stationäre warme und kalte Antizyklonen in Euro-
pa. Diss. Leipzig.
- RYKATSCHEW, P. 1876 Zyklonenbahnen in Europa. Memoires Acad. St.
Petersburg, Math. Phys. Bd. III, Nr. 3 (nur russ.).
- SCHERHAG, R. 1948 Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetter-
prognose. Berlin.
- SCHMAUSS, A. 1945 Das Problem der Wettervorhersage. Leipzig.
- SCHOENWALDER, H. 1953 Die Zyklonen der nördlichen Halbkugel. Diss.
FU Berlin (ungedruckt).
- SEMENOW, I. 1901 Typen der barometrischen Maxima über Europa
1889—93. Memor. de l'Académie imperiale des
Sciences de St. Petersburg, Reihe 8, Bd. 11. No.
3, 24 S.
- SIEGENTHALER, J. 1949 Die Erforschung von Großwetterlagen-Übergängen.
Met. Rund., Jg. 2, S. 76—77.
- TEICH, M. 1955 Beitrag zum Problem der allgemeinen Zirkulation,
insbesondere der mitteltroposphärischen Hoch-
druckgebiete der nördlichen Hemisphäre. Abh. d.
Met. u. Hydr. D. der DDR, Bd. 5, Nr. 36, Berlin.
- WALDEN, H. 1952 Verhalten stationärer Hochdruckgebiete bei An-
näherung einer wandernden Hochzelle. Ber. Wd.
US-Zone, Nr. 35, S. 36.
- WALDEN, H., JAEKISCH, H., 1950 Zur Vorhersage von Hochdruckgebieten über NW-
Europa. Ann. Met., S. 267—283.
- WEICKMANN, L. 1922 Luftdruck und Winde im östlichen Mittelmeer
(aus: „Klima der Türkei“), Habilschr. München.
- WENTZEL, M. 1944 Grundzüge der synoptischen Methode der Lang-
fristprognosen. Ref. nach neuesten russ. Quellen,
RfW.

Täglicher Wetterbericht des Deutschen Wetterdienstes, Kissingen bzw. Frankfurt
1947—1957.

Wetterkarte des Seewetteramtes, Hamburg 1953—1957.

Täglicher Wetterbericht des Met. und Hydr. Dienstes der DDR., Potsdam 1947—1957.

Zehntägiger Nordwestdeutscher Witterungsbericht, Hamburg, Oktober 1948—Mai 1953.

Monatlicher Witterungsbericht für Rheinland/Pfalz, Neustadt/Haardt 1950.

Monatlicher Witterungsbericht des Deutschen Wetterdienstes, Kissingen bzw. Frank-
furt 1947—1957.

Monatlicher Schnellbericht des Deutschen Wetterdienstes für Nordbayern, Wetteramt
Nürnberg 1948—1957.

Monatlicher Witterungsbericht für das Gebiet der DDR, Potsdam 1948—1956.

Die Großwetterlagen Mitteleuropas, herausgegeben vom Deutschen Wetterdienst,
1947—1957.

Lebenslauf

Am 15. Mai 1932 wurde ich als Sohn des Holzarbeiters Hans REINEL und seiner Ehefrau Johanna, geb. BLAS in Schönwald (Ofr.) geboren. Von 1938 bis 1944 besuchte ich die Volksschule zu Schönwald, von 1944 bis 1952 die Oberrealschule in Selb, wo ich im Juli 1952 die Reifeprüfung mit Erfolg ablegte.

Im Wintersemester 1952/53 begann ich das Studium der Naturwissenschaften (Fächer Geographie, Biologie und Chemie) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen.

Im Sommersemester 1955 erhielt ich von Herrn Professor Dr. J. BLUTHGEN die Anregung für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit.

Nach Abschluß des Studiums unterzog ich mich im Herbst 1958 der wissenschaftlichen Prüfung für das Lehramt an Höheren Schulen. Danach kam ich an das Pädagogische Seminar der Dürer-Oberrealschule in Nürnberg.

